

**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ**  
**ÚSTAV AUTOMATIZACE A INFORMATIKY**

**FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING**  
**INSTITUTE OF AUTOMATION AND COMPUTER SCIENCE**

# **NÁVRH KONSTRUKCE MOBILNÍHO AUTONOMNÍHO ROBOTU**

DESIGN OF AUTONOMOUS MOBILE ROBOT

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**  
DIPLOMA THESIS

**AUTOR PRÁCE**  
AUTHOR

**BC. JAKUB VODRÁŽKA**

**VEDOUČÍ PRÁCE**  
SUPERVISOR

**ING. STANISLAV VĚCHET, PH.D.**

BRNO 2010



Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav automatizace a informatiky

Akademický rok: 2009/2010

## **ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE**

student(ka): Bc. Jakub Vodrážka

který/která studuje v **magisterském navazujícím studijním programu**

obor: **Aplikovaná informatika a řízení (3902T001)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

### **Návrh konstrukce mobilního autonomního robotu**

v anglickém jazyce:

#### **Design of autonomous mobile robot.**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Hlavním cílem práce je navrhnout konstrukci podvozku autonomního robotu pro pohyb v indoor prostředí. Podvozek robotu má být diferenciálního typu poháněný dvěma nezávislými pohonnými jednotkami. Dílčí část práce se bude zabývat návrhem vnější konstrukce robotu, tak aby celkovým výsledkem práce nebyl jen funkční podvozek, ale i celkový design robotu.

Cíle diplomové práce:

Seznamte se s hlavními požadovanými parametry robotu

Na základě těchto parametrů proveďte předběžný návrh podvozku

Sestavte designové návrhy vnější konstrukce

Vyrobte navržený podvozek i vnější konstrukci

Robota sestavte do výsledného celku

Seznam odborné literatury:

[www.robotika.cz](http://www.robotika.cz)

Vedoucí diplomové práce: Ing. Stanislav Věchet, Ph.D.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2009/2010.

V Brně, dne

L.S.

---

Ing. Jan Roupec, Ph.D.  
Ředitel ústavu

---

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.  
Děkan fakulty

## ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zabývá návrhem konstrukce prostředku pro testování lokalizačních metod pro indoor navigaci. Jako vhodný prostředek pro testování byl navržen autonomní robot.

Práce je rozdělena do tří částí. V první části je popsáno rozdělení robotů, jejich možné využití a jsou zde také uvedeny použitelné snímače při řešení tohoto problému.

Druhá část pojednává o návrhu a konstrukci robotu. Ten je postaven na podvozku diferenciálního typu s opěrnou ostruhou. Jako pohonné jednotky slouží dva elektromotory s převodovkou a snímačem otáček výstupní hřídele. Plášť robotu byl navržen s ohledem na jeho funkčnost, ale i celkový vzhled. Robot má zároveň sloužit pro prezentaci robotiky. Konstrukce zahrnuje také návrh řídicí jednotky a snímačů.

V poslední části je popsán statistický model pohybu robotu, v rámci kterého bylo provedeno několik experimentů. Ty měly za úkol zjistit případné odchylky při měření pohybu snímači robotu od skutečnosti.

## ABSTRACT

The thesis deals with design of the device for testing the localization techniques for indoor navigation. Autonomous robot was designed as the most appropriate platform for testing.

The thesis is divided into three parts. The first one describes various kinds of robots, their possible use and sensors, which could be of use for solving the problem.

The second part deals with the design and construction of the robot. The robot is built on the chassis of the differential type with support spur. Two electric motors with a gearbox and output shaft speed sensor represent the drive unit. Coat of the robot was designed for good functionality and attractive overall look. The robot is also used for the presentation of robotics. Thesis provides complete design of chassis and body construction, along with control section and sensorics.

The last part describes a statistical model of the robot movement, which was based on several performed experiments. The experiments were realized to find any possible deviations of sensor measurement comparing to the real situation.

## KLÍČOVÁ SLOVA

Autonomní robot, navigační metody, testování indoor navigace, statistický model pohybu, odometrie.

## KEYWORDS

Autonomous robot, navigation methods, testing indoor navigation, a statistical model of the motion, odometry.



## **PODĚKOVÁNÍ**

Chtěl bych především poděkovat vedoucímu diplomové práce Ing. Stanislavu Věchetovi Ph.D. za jeho rady, konzultace a připomínky k této diplomové práci. Poděkování patří také všem z okruhu rodiny a přátel, kteří mi vytvořili vhodné podmínky pro dokončení této práce.





**Obsah:**

	<b>Abstrakt.....</b>	<b>5</b>
<b>1</b>	<b>Úvod.....</b>	<b>11</b>
<b>2</b>	<b>Cíl diplomové práce.....</b>	<b>13</b>
<b>3</b>	<b>Využití mobilních robotů.....</b>	<b>15</b>
3.1	Rozdělení robotů .....	15
3.2	Stacionární roboty.....	15
3.3	Mobilní roboty.....	16
3.4	Diferenciální podvozek .....	16
3.5	Ackermanův podvozek.....	17
3.6	Snímače a senzory.....	18
3.7	Snímače polohy.....	19
3.8	Snímač otáček a úhlů.....	20
3.9	Řídící obvody.....	20
3.10	Navigační technologie.....	21
<b>4</b>	<b>Použité technologie.....</b>	<b>23</b>
<b>5</b>	<b>Návrh a konstrukce robotu.....</b>	<b>25</b>
5.1	Návrh podvozku.....	25
5.2	Návrh pohonné jednotky.....	25
5.2.1	Servomotor Dynamixel AX-12.....	26
	Hlavní specifické parametry.....	27
	Další technické parametry.....	27
5.2.2	EMG30.....	28
	Technická specifikace EMG30.....	28
5.3	Opěrná ostruha.....	30
5.4	Návrh vnější konstrukce.....	31
5.5	Návrh řídicího elementu.....	34
5.6	Návrh snímačů.....	34
<b>6</b>	<b>Statistický model pohybu.....</b>	<b>37</b>
6.1	Popis experimentu.....	37
6.2	Provedení experimentu.....	37
6.3	Příprava a průběh experimentu.....	38
6.4	Výpočet statistického modelu pohybu.....	40
<b>7</b>	<b>Vyhodnocení provedených experimentů.....</b>	<b>41</b>
7.1	Jízda přímým směrem po dobu 3 a 6 sekund.....	41
7.2	Grafy četností pro jízdu přímým směrem po dobu 3 sekund.....	43
7.3	Grafy četností pro jízdu přímým směrem po dobu 6 sekund.....	44
7.4	Jízda vlevo po dobu 3 a 6 sekund.....	45
7.5	Grafy četností pro jízdu vlevo po dobu 3 sekund.....	47
7.6	Grafy četností pro jízdu vlevo po dobu 6 sekund.....	48
7.7	Kombinace jízdy vlevo a vpravo po dobu 6 a 12 sekund.....	49
7.8	Grafy četností pro kombinaci jízdy vlevo a vpravo po dobu 6 sekund.....	51
7.9	Grafy četností pro kombinaci jízdy vlevo a vpravo po dobu 12 sekund.....	52
<b>8</b>	<b>Závěr.....</b>	<b>53</b>
	<b>Seznam použité literatury.....</b>	<b>55</b>



# 1 ÚVOD

Navigační technologie je dnes více a více využívána v mnoha odvětvích techniky, ale i běžného života člověka. Tato technologie se stále rozvíjí a je třeba ji průběžně zdokonalovat. Zároveň s tím vzniká potřeba testování, zda daný krok ve vývoji je krokem tím správným směrem. Proto je nutné mít prostředek, na kterém je možné testy provést.

Tato diplomová práce pojednává o návrhu konstrukce a následné realizace prostředku k testování indoor navigace, konkrétně je potřeba testovat lokalizační a mapovací metody. K tomuto testování je nutné vyrobit vhodné zařízení, které se dokáže samostatně pohybovat a orientovat v prostoru. Jako nejučinnější prostředek byl zvolen autonomní robot.

V následujících kapitolách jsou popsány požadavky na autonomního robota, možné varianty řešení jeho konstrukčních prvků a výsledný způsob provedení jednotlivých částí konstrukce. Robot by měl primárně sloužit jako testovací nástroj pro indoor navigaci, ale i k účelům prezentace robotiky. Z tohoto důvodu je kladen důraz nejen na funkčnost, ale i na celkový vzhled a design. Robot má mít podvozek diferenciálního typu s ostruhou, u kterého je pohon zajištěn pomocí dvou nezávislých hnacích jednotek. V práci je zmíněn systém řízení podvozku, který je zajištěn integrovaným obvodem ATmega128, ve kterém je nahrán patřičný program. Při navrhování konstrukce bylo také nutno myslet na použité snímače a senzory, které poskytují robotu určité informace o jeho okolí. Některé snímací prvky jsou zmíněny v kapitole 3.6 Snímače a senzory. Vnější plášť konstrukce, který tvoří i výsledný vzhled robotu, tvoří laminátová skořepina s hladkým černým povrchem.

Součástí práce je i zpracování statistického modelu pohybu robotu. Jedná se o sérii experimentů, při kterých se robot pohybuje předem určeným způsobem (podle programu). Každý experiment obsahuje několik měření, aby byla zajištěna objektivnost zpracovávaných dat. Cílem experimentu je získat z naměřených hodnot jejich střední hodnotu a kovarianční matici. Tato data budou využita při plánování trasy robotu ve vnitřním modelu pohybu. Při zpracování dat bylo použito tabulkového procesoru v rámci balíku OpenOffice a výpočetního programu Matlab.



## 2 CÍL DIPLOMOVÉ PRÁCE

Hlavním cílem této práce je navrhnout konstrukci podvozku autonomního robotu pro pohyb v indoor prostředí. Tento robot má mít podvozek diferenciálního typu a poháněn má být dvěma nezávislými pohonnými jednotkami. Dále se práce zabývá návrhem vnější konstrukce robotu tak, aby výsledkem byl nejen funkční podvozek, ale i celkový design robotu.

Robot má sloužit k testování technologie indoor navigace, tedy pro testování lokalizačních a mapovacích metod. Ty se dají využít pro mapování rozlehlých objektů, těžebních dolů, ale i např. pro soutěže robotů ve fotbale a podobně.

Nedílnou součástí robotu musí být i celkový design, který má být líbivý, dostatečně reprezentativní a kvalitně provedený. Protože robot bude využíván také např. při prezentačních akcích, kde lze názorně demonstrovat využití implementovaných technologií, je kladen důraz na jeho vnější tvar.

Celkem lze cíle, kterých má být dosaženo, shrnout v následujících bodech:

- seznámit se s hlavními požadovanými parametry
- na základě těchto parametrů provést předběžný návrh podvozku
- sestavit designové návrhy vnější konstrukce
- vyrobit navržený podvozek i vnější konstrukci
- sestavit robot do výsledného celku

Tyto cíle jsou uvedeny jako hlavní. Ovšem v souvislosti s indoor navigací by bylo vhodné ověřit reálné chování robotu experimentem. Tento experiment má za cíl ověřit, s jakou pravděpodobností se robot pohybuje podle jím naměřených údajů ve srovnání se skutečností. Proto je v rámci této diplomové práce zahrnuta část pojednávající o odometrii robotu. Je to proces, který popisuje transformaci naměřených dat z různých senzorů na změnu polohy robotu.



### 3 VYUŽITÍ MOBILNÍCH ROBOTŮ

V dnešní době se roboti používají v mnoha oblastech lidského života. Většinou ulehčují běžnou činnost člověka, například v domácnosti, ale dokáží nahradit lidskou práci v průmyslu a zemědělství. Nahrazují práci, kterou by člověk fyzicky nezvládl, práci, která je náročná na přesnost nebo vytrvalost. V mnoha případech je i životu nebezpečná, např. oblast s možností výbuchu nebo s vysokou koncentrací škodlivých plynů. Roboti mají využití i pro vojenské účely, kde se většinou pohybují v nebezpečných oblastech a jsou člověkem pouze řízeni na dálku.

#### 3.1 Rozdělení robotů

Základní rozdělení robotů může být podle pohyblivosti. Jak je uvedeno ve zdroji [1], roboty se dělí do dvou skupin a to na:

- Stacionární – bez možnosti pohybu (průmyslové manipulátory)
- Mobilní – mohou se přemisťovat na vlastním podvozku

Míst, kde najdeme roboty vykonávající nějakou práci, je mnoho. Jsou to například tyto oblasti:

- průmyslová výroba – dopravníky, manipulátory, svařovny, lakovny
- v domácnosti – vysavač, kuchyňský robot, pračka, myčka
- lékařství – operace na dálku, protetika
- průzkumy, nebezpečné prostředí – záchranářské práce, práce s pyrotechnikou, potrubí
- doprava – autopilot, vývoj autonomního vozidla, kolejové vozidlo bez řidiče
- zábava – robotický pes Aibo

První průmyslový robot firmy Unimate byl zprovozněn v roce 1961 na výrobní lince Generals Motors v New Jersey. [1]

#### 3.2 Stacionární roboty

Stacionární robot je například výše zmiňovaný manipulátor. Je to stroj, který nemá vlastní „inteligenci“, je řízen na dálku a koná pouze předepsaný pohyb. Je většinou vybaven pohybem v 6-ti osách, kde tři jsou na posuv v jednotlivých osách x,y,z a zbylé tři pohyby jsou rotační v těchto osách. Někdy mají tyto roboty i sedmou osu, která může být použita pro synchronní pohyb s pásem nebo pro sevření svařovacích kleští. Největší využití má v průmyslu, především automobilním, kde může obstarávat následující úkony [1]:

- bodové svařování – svařování karoserie automobilu
- souvislé sváření
- aplikace – lepidel, těsnění, tlumiv
- lakování – stříkání tekutých a práškových barev, laků
- montáž – instalace a kompletace
- manipulace – překládání, vykládání a umístění jednotlivých dílů z pásu
- paletizace – skládání nebo vykládání dílů na paletách
- kontrola – pomocí snímačů, laserů, kamer

Další využití má stacionární robot jako [1]:

- jeřáb – mostový s vozíkem
- tiskárny, plottery, rýsovače
- laserové nebo plazmové vypalování z plechů

### 3.3 Mobilní roboty

Tyto roboty jsou většinou autonomní. Jsou vybaveny snímači a jinými prvky určenými k poskytnutí informací o poloze, směru a rychlosti pohybu robotu. Další možnost určení pohybu je dálkové ovládání, kde robot získává všechny informace od operátora, který jej řídí.

Mobilní robot je vybaven vlastním podvozkem, hnacím ústrojím a zdrojem energie pro vykonávání všech požadovaných operací. Podvozků pro mobilní robot je několik druhů. Jak je uvedeno ve zdroji [1], mohou to být např.:

- diferenciální podvozek – robot má dvě hnaná kola a pro stabilitu ještě opěrný bod(y), nebo pasivní kolo (popř. více kol)
- synchronní podvozek – často tři kola, se dvěma stupni volnosti – mohou se otáčet i natáčet
- trojkolový podvozek – dvě kola hnací a jedno motoricky natáčené
- Ackermanův podvozek – klasický podvozek osobních automobilů, celkem 4 kola, dvě hnací, dvě různě natáčená
- trojúhelníkový podvozek – tři kola, jejichž osy prochází těžištěm, jsou na obvodu opatřena malými kolečky umožňujícími volný skluz ve směru osy
- podvozek se všesměrovými koly
- pásový podvozek
- kráčeč robot

Pro pohyb robotu se nejčastěji používá elektromotor. Pro jednoduché nenáročné použití lze použít stejnosměrný motor s komutátorem. Pro výkonově náročnější aplikace je vhodnější použít asynchronní motory na střídavé napětí.

V robotice se ve velké míře využívají servomotory. Tento celek tvoří většinou motor spojený s převodovkou, enkodér a zpětná vazba. Servomotor je schopen natočit výstupní hřídel do požadované polohy a tuto polohu držet i pod určitou zátěží. Ovládají se jím např. obráběcí CNC stroje, používá se v oblasti RC (radio controlled) modelů, pro ovládání ventilů apod.

Mobilní roboty nemohou být závislé na stacionárním zdroji napájení. Proto musí mít zdroj energie nezávislý na jejich poloze. Pro tento účel se používá baterie, ale častěji je to akumulátor, který lze dobít a opět použít. Velikost akumulátoru se odvíjí od požadovaného napětí a kapacity.

### 3.4 Diferenciální podvozek

Tento jednoduchý a spolehlivý podvozek se používá u menších robotů. Je to v podstatě stejný systém podvozku, který se používá u invalidního vozíku, kde jsou v jedné ose nezávisle ovládaná (hnaná) kola, která zajišťují pohyb a zároveň umožňují zatáčet [2]. Diferenciální podvozek má i tank. Proto do této kategorie řadíme roboty, kteří se dokážou:

- pohybovat vpřed nebo vzad
- otáčet kolem vlastní osy

Často tyto podvozky nazýváme diferenciálně řízenými, protože změna orientace je závislá na rozdílu rychlosti pohybu levého a pravého kola/pásu. Pro stabilizaci celého robotu je použita ostruha, která může mít podobu přídatného pasivního kolečka, popř. více koleček.

Celý pohyb je určen otáčením hnacích kol. Ta jsou většinou vybavena nezávislými elektromotory. Pokud se obě kola otáčejí stejně rychle stejným směrem, robot jede rovně. Pokud se kola točí stejně rychle, ale opačným směrem, robot se otáčí kolem středu osy nápravy. V případě, že se kola točí stejným směrem s nenulovým rozdílem, robot se pohybuje po kružnici a zatáčí směrem ke kolu s menšími otáčkami. Jak je uvedeno v použité literatuře [3], poloměr opisované kružnice je dán následující rovnicí:

$$R = \frac{1}{2} \cdot \frac{(V_L + V_R)}{(V_L - V_R)} \cdot b$$

kde  $b$  je vzdálenost kol od sebe a  $V_L, V_R$  jsou rychlosti kol.



Pohybuje-li robot po kružnici, mění se úhel jeho natočení oproti výchozí pozici. Konečný úhel natočení oproti výchozí pozici je dán následujícím vzorcem:

$$\varphi = \frac{(dL - dR)}{b} [\text{rad}] \quad [3]$$

kde  $dL$ ,  $dR$  jsou ujeté vzdálenosti jednotlivých kol. Výsledný úhel natočení nezávisí na průběhu pohybu robotu, ale pouze na rozdílu počáteční a koncové hodnoty ujetých vzdáleností jednotlivých kol.

Pro určení ujeté vzdálenosti, která se počítá od středu hnací nápravy, se použije vzorec ve tvaru:

$$d = \frac{(dL + dR)}{2} \quad [3]$$

kde opět  $dL$ ,  $dR$  jsou ujeté vzdálenosti jednotlivých kol a jejich součet se dělí dvěma.

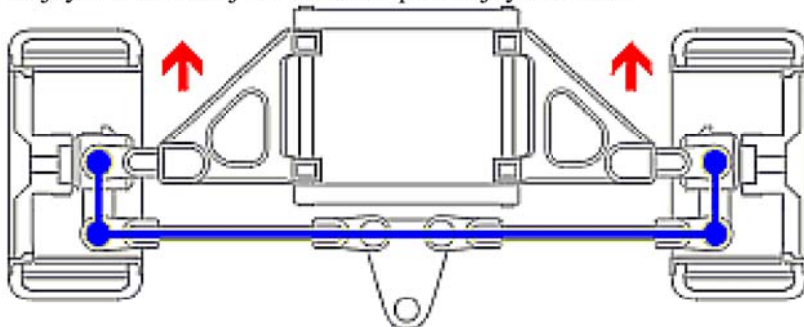
### 3.5 Ackermanův podvozek

Ackermanův princip řízení definuje geometrii, kterou lze aplikovat na všechna vozidla (dvoukolová, čtyřkolová) tak, aby byl zajištěn správný úhel natočení řídicích kol při průjezdu zatáčkou. Než byl tento systém vivinut, používalo se řízení pomocí paralelní řídicí tyče. Tento způsob řízení nebyl dostatečně výhodný pro řízení vozidel.

V principu se jedná o to, že když vozidlo jede do zatáčky, která má určitý poloměr, vnitřní kola jedou po menším poloměru kružnice než kola vnější. V případě, že jsou kola natočena pod stejným úhlem, dochází ke smýkání vnitřního kola, ke vzniku tepla vlivem tření a většího opotřebení pneumatiky. Tento problém lze eliminovat zvětšením úhlu natočení vnitřního kola oproti vnějšímu.

Aby při průjezdu zatáčkou došlo k odlišnému úhlu natočení řídicích kol, je nutné dodržet určitou geometrii řídicího mechanismu. Tato geometrie je dána úhlem natočení řídicí páky kola a její délkou. Nyní si popíšeme princip řízení pomocí paralelní řídicí tyče a Ackermanova principu řízení popsaný ve zdroji [4]:

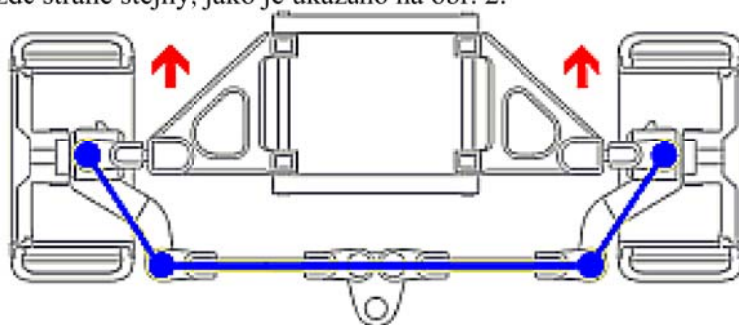
- Paralelní řídicí tyč – řídicí tyč je umístěna paralelně s řídicí nápravou. Při zatáčení se obě kola pohybují stejným směrem a jsou natočena pod stejným úhlem.



Obr. 1 Řízení pomocí paralelní řídicí tyče [4].

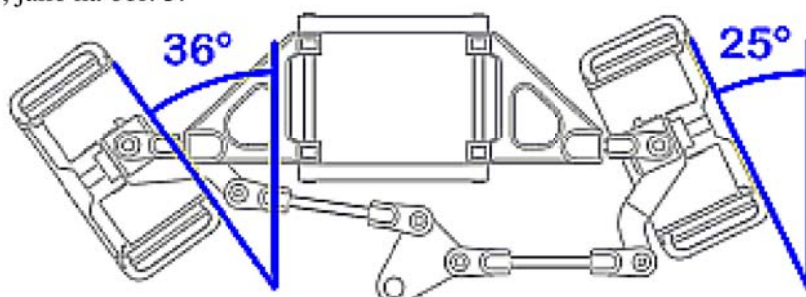
Tento způsob řízení se používal u dálkově ovládaných modelů aut, kde nebylo nezbytně nutné dodržet přesnost zatáčení.

- Ackermanův princip řízení – kola na řízené nápravě mají svoji páku řízení skloněnou o určitý úhel, na každé straně stejný, jako je ukázáno na obr. 2.



Obr. 2 Ackermanův princip řízení [4].

Tento úhel a délka páky způsobuje různé natočení každého kola při průjezdu zatáčkou, podobně, jako na obr. 3.



Obr. 3 Různý úhel natočení kol při průjezdu zatáčkou [4].

Důležitý poznatek je ten, že takovýto způsob zatáčení má exponenciální průběh. To znamená, že čím více vozidlo zatáčí, tím větší je rozdíl mezi úhly natočení [4].

### 3.6 Snímače a senzory

Snímač je zařízení, které je určeno pro snímání a detekci různých fyzikálních veličin, vlastností látek nebo technických stavů. Snímače se používají v mnoha oblastech lidské činnosti. Podle oblasti a měřené veličiny je lze dle zdroje[5] rozdělit následovně:

- Senzor nebo čidlo se používá v průmyslu, pro regulaci nebo automatizaci. Snímač může být např.:
  - teplotní snímač
  - snímač polohy – optický, magnetický
  - snímač pohybu a posunutí
  - snímač rozdílu tlaku (snímač tlakových rozdílů)
  - hladinový snímač
  - indukční snímač průtoku
  - snímač otřesů
  - odrazový infrasenzor
  - ultrazvukový snímač
- snímač čárového kódu
- snímač otisků prstů [5]

V souvislosti s možnou aplikací jednotlivých snímačů jsou zde popsány dva specifické snímače, konkrétně odrazový infrasenzor a ultrazvukový snímač. Tyto snímače slouží k určení vzdálenosti od určitého objektu.

Ultrazvukový dálkoměr typ SRF10, popsáný v použitém zdroji [6], pracuje s frekvencí zvuku 40kHz. Jeho pracovní rozsah je 6cm až 6m a vyzařovací úhel je dle popisu 72°. Disponuje analogovým zesílením 40 – 700x v 16ti krocích. Napájen je 5V stejnosměrného napětí a maximální proudové zatížení je 15mA.



Obr. 4 Ultrazvukový dálkoměr, typ SRF10 [6].

Odrázový infrasenzor zajišťuje stejnou funkci jako ultrazvukový snímač, ale pracuje s infračerveným zářením. Infrasenzor od firmy Sharp, typ GP2D120, má snímací vzdálenost 4 – 30cm. Je napájen 5V napětím a výstupní napětí je přímo úměrné vzdálenosti. Typ GP2Y0A02 má obdobné vlastnosti, liší se pouze detekční vzdáleností, která činí 20 – 150cm [7].



Obr. 5 Odrázový infrasenzor firmy Sharp, typ GP2Y0A02 [7].

### 3.7 Snímače polohy

Snímač polohy slouží k určení polohy částí stroje. Tato informace je důležitá pro další kroky v naplánované činnosti stroje, popř. pouze ke kontrole současného stavu stroje či zařízení. Snímače polohy se mohou dělit podle druhu poskytované informace.

- Absolutní hodnota polohy – snímač poskytuje informaci o poloze části stroje v absolutní hodnotě od výchozí (nulové) polohy.
- Relativní hodnota polohy – je hodnota od předem definovaného bodu měření, který byl označen za počátek měření. Ve skutečnosti stroj nedostává informaci o přesné poloze, ale pouze údaj, o kolik se změnila poloha vůči předchozímu stavu.
- Krajní poloha – je informace o tom, že část stroje se nachází v krajní poloze. Tato informace může být důležitá pro kalibraci části stroje, ale i pro předejití možnosti poškození stroje.

Tyto informace lze získat pomocí snímačů pracujících na různých principech. Většinou jsou v dnešní době bezdotykové, zajištěné pomocí optických nebo elektromagnetických členů. Lze je rozdělit podle [8] následovně:

- Indukční snímače polohy – jsou tvořeny vzduchovou cívkou, do které se zasouvá magneticky vodivé jádro. Tím se mění permeabilita dutiny cívky a vodivost magnetického obvodu. Měřené délky se pohybují do 100mm, pro měření větších vzdáleností se používá převod.

- Kapacitní snímače polohy – pracují na principu kondenzátoru s proměnnou kapacitou. Lze využít změny účinné plochy, vzdálenosti elektrod nebo změny dielektrika.
- Optické snímače polohy – v nejjednodušší variantě je základem optický paprsek, který prochází stupnicí vytvořenou na měřítku nebo se od ní odráží a přes masku se stupnicí s identickým dělením dopadá na fotodetektory, které generují elektrický signál [9].
- Mechanické inkrementální snímače polohy – převádí rotační nebo lineární pohyb na elektrický signál.
- Optozávory

### 3.8 Snímač otáček a úhlů

Tyto snímače pracují na různých principech s různou přesností a mají také široké pole použití. Podle již zmiňovaného principu snímání mechanických veličin je můžeme rozdělit do těchto základních skupin:

- Inkrementální – jádrem optických inkrementálních snímačů je tzv. pulzní disk, který je vyroben z různých materiálů. Je mechanicky spojen s hřídelí procházející zpravidla osou snímače. Disk má na obvodu světlá a tmavá pole. Snímač je opatřen diodou, která generuje světlo v pásmu infračerveného spektra. Disk svým otáčením střídavě zacloňuje fotodetektor, který zachycuje světlo z diody. Tento signál má zpravidla tvar obdélníku nebo má sinusový tvar. Počet tmavých a světlých míst na kotoučku odpovídá počtu signálů za otáčku. To je jeden z důležitých parametrů snímače. Dnes bývá obvykle kotouček vybaven dvěma stopami, které jsou vůči sobě posunuté o 90°, tím lze rozeznat i směr otáčení a třetí stopou, která určuje počet otáček. Tyto snímače si při odpojení napájení nepamatují svojí původní polohu [10].
- Absolutní - tyto snímače jsou konstruovány na stejném principu jako inkrementální snímače. Dle zdroje [11] tento snímač umožňuje zjistit úhel natočení rotoru ihned po připojení napájení, bez nutnosti předchozího natočení. Snímače mají rotující kotouč s několika stopami obsahujícími otvory, které tvoří určitý kód. Často se používá Greyův kód. Tento kód se při přechodu do další polohy mění pouze o jeden bit a tak je snadné detekovat úhel natočení a chybu [11].
- Magnetické - pracují na principu snímání magnetických pólů. Ty jsou umístěny na magnetickém pásku (pro snímání lineárního pohybu) nebo kroužku (pro snímání rotačního pohybu). Snímač je umístěn v přesně definované vzdálenosti. Při otáčení se postupně střídají magnetické póly a tyto změny snímač zachycuje a převádí na vhodný elektrický signál. Šířka jednotlivých pólů má velký vliv na přesnost a rozlišení snímače [12].

### 3.9 Řídící obvody

Aby mohl robot samostatně vykonávat činnost, musí být řízen. Řídící systémy tvoří skupina senzorů, které snímají požadované veličiny nebo poskytují informace o stavu systému. Tyto informace dostává řídicí obvod, který je podle programu vyhodnocuje a na základě možných akcí rozhodne o tom, kterou akci provede. Řídící obvody, jako základní prvky těchto systémů, se mohou dělit následovně:

- Mikrocontroller (mikrořadič)
- DimmPC
- MiniATX
- PicoITX

Tyto řídicí obvody jsou hardwarově podobné. Disponují několika vstupy a výstupy, na základě kterých získávají informace o prostředí nebo naopak dávají signály akčním členům pro vykonání určité akce.

Pro řízení lze také použít počítač typu DimmPC. Dle použitého zdroje [13] se ve své podstatě jedná o klasické PC se všemi základními komponenty jako je procesor, paměť, harddisk, vstupní a výstupní konektory. To vše je integrováno na jedné desce o velmi malých rozměrech. Výhodou je i to, že tento počítač neobsahuje pohyblivé části a tak je vhodný pro použití v mnoha oblastech pro řízení robotů.



Obr. 6 Příklad DimmPC (typ 520-I) [13].

U velkých projektů lze použít i klasický osobní počítač. Například v závodě DARPA Grand Challenge v USA, kde se pořádá závod bezpilotních vozidel, bylo použito právě těchto počítačů. Tyto počítače se hodí již pro aplikace, kde jsou nutné plánovací a rozhodovací mechanismy. Programy pro tyto „roboty“ byly napsány například v programovacím jazyce C++ nebo C# a samotné počítače disponují vysokým výpočetním výkonem.

„Inteligenci“ robotu tvoří nahraný program v těchto obvodech. Určuje, jakým způsobem má být robot řízen. Jedním z možných způsobů, jak řídit chování autonomního robotu, je např. použití některého z algoritmů, spadajících do skupiny tzv. reaktivního řízení [14].

### 3.10 Navigační technologie

Pro správné řízení robotů je nutná také navigace. Tato technologie zahrnuje několik podproblémů, které se musí pro správné použití vyřešit. Lze je rozdělit následovně:

- Lokalizace – je to proces určení polohy robotu. Většinou je poloha určena souřadnicemi  $x, y$  a úhlem natočení  $\varphi$ . Typy lokalizace lze ještě rozdělit takto:
  - Lokální - lokální lokalizace se zabývá eliminací chyb odometrie při navigaci robotu. Tento systém potřebuje pro svoji činnost znát přibližnou počáteční polohu. Problém nastává, když robot ztratí dráhu, protože tento systém neumí zpětně zjistit předchozí polohu robotu.
  - Globální - pomocí globální lokalizace se robot dokáže zorientovat v prostoru a, aniž by znal svoji polohu, dokáže na mapě určit, kde se právě nachází. Globální lokalizace je účinnější než lokální a dokáže se vypořádat se situací, kdy robot ztratil informace o cestě nebo poloze.
  - Position tracking - position tracking je další možnost určitého způsobu navigace. Spočívá v odhadu polohy robotu. Tato metoda slouží k vytvoření odhadu polohy robotu s určitou pravděpodobností. Z uvedených metod je tato nejjednodušší.
- Plánování cesty – tento problém zahrnuje určení cesty, kterou se lze dostat z bodu A do bodu B
- Mapa – pomocí mapy lze určit překážky a trasu pohybu. Její podoba může být různá, může ji tvořit graf, maticové pole a podobně.
- Detekce překážek
- Sledování cíle

Řízení pomocí navigační technologie probíhá na několika úrovních. Část označovaná jako hi-level má za úkol určit trasu z bodu A do bodu B. Další, nižší úroveň, může vyhodnocovat překážky nebo určit body průjezdu a jiné jednodušší úkoly. Nejnižší úroveň, označovaná jako low-level, se stará o základní úkony jako je například otáčení koly, zatáčení a podobně.



## 4 POUŽITÉ TECHNOLOGIE

Na základě rešerže a cílů, kde byly částečně stanovené požadavky, je nutné provést několik dílčích návrhů součástí celého robotu. Určením celkových rozměrů robotu a přibližnou podobou podvozku se bude zabývat následující kapitola 5 Návrh a konstrukce robotu. V této kapitole budou zpracovány požadavky na podvozek, použitý materiál apod.

Další kapitola bude pojednávat o navržených a skutečně použitých pohonných jednotkách. Z cílů této diplomové práce je jasné, že budou použity dvě nezávislé pohonné jednotky odpovídající svou velikostí a parametry potřebám celého robotu. Pohonnými jednotkami se bude zabývat kapitola 5.2 Návrh pohonné jednotky.

Pro bezproblémové a univerzální použití robotu se musí předem počítat i s použitým řídicím elementem. Tato diplomová práce není primárně určena, aby rozhodla o použití toho či onoho řídicího obvodu. Avšak provedení podvozku by mělo umožnit montáž alespoň několika verzí těchto obvodů. Tím bude částečně zaručena flexibilita při testování různých řídicích obvodů pro testování indoor navigace. Řídicí obvody, které připadají v úvahu k použití, jejich možné upevnění a připojení řeší kapitola 5.5 Návrh řídicího elementu. Vzhledem k tomu, že není vyžadováno žádné složité chování, bude se uvažovat pro řízení robotu tzv. řízení reaktivní, postavené na hardwarové platformě s mikrořadičem ATmega128.

Kapitola 5.4 s názvem Návrh vnější konstrukce by měla naznačit možné varianty vnější konstrukce, čili možnosti provedení tvaru a použitého materiálu. Tato kapitola bude velmi významná z toho důvodu, že robot může být použit i pro reprezentativní účely a je nutné, jak již bylo řečeno v cílech, aby vnější vzhled byl líbivý a kvalitně zpracovaný. Vnější konstrukce by měla taktéž umožnit montáž snímačů. O těch se píše v kapitole 5.6 Návrh snímačů.

Na závěr celé práce je potřeba provést experiment týkající se odometrie robotu. Tento experiment odometrie robotu má za cíl prokázat, s jakou pravděpodobností se skutečná poloha robotu shoduje s naměřenou hodnotou. K tomu je nutné provést měření při používání robotu a zároveň snímat naměřená data. Všechny hodnoty budou následně zpracovány ve zvoleném programu a poté vyhodnoceny. Odometrii je věnována kapitola 6 Statistický model pohybu. Způsob provedení experimentu je popsán v kapitole 6.2 Provedení experimentu, naměřené hodnoty a způsob zpracování dat v kap. 6.4 Výpočet statistického modelu pohybu a vyhodnocení experimentu v kapitole 7 Vyhodnocení provedených experimentů.





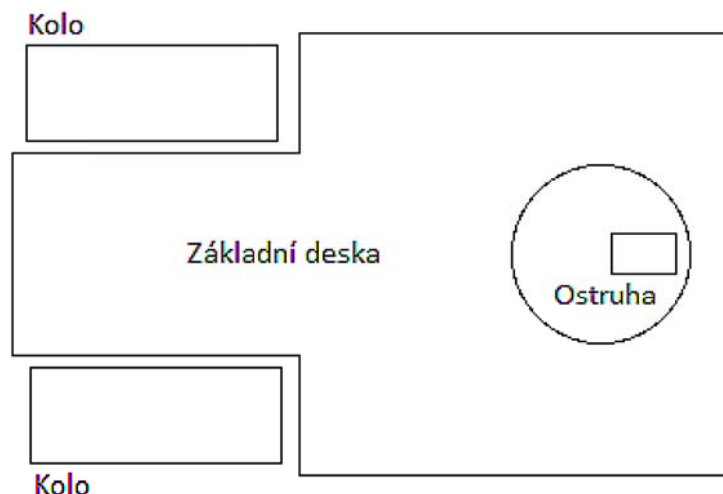
## 5 NÁVRH A KONSTRUKCE ROBOTU

Nejprve bylo nutné určit přibližné rozměry robotu. Vzhledem k tomu, že se jedná o testovací model, byly po konzultaci s vedoucím diplomové práce maximální rozměry stanoveny 40x40x50cm (DxŠxV). Tím budou zajištěny kompaktní rozměry robotu, jenž se bude moci snáze přemísťovat bez použití větší než lidské síly. Zároveň poskytnou dostatek prostoru pro použité součástky.

### 5.1 Návrh podvozku

Podvozek je velice důležitá část robotu, protože musí splňovat několik požadavků. Nejdůležitější z nich bude nejspíš stabilita. Byť je dle cílů stanoveno, že se robot bude pohybovat v indoor, tedy ve vnitřním prostředí budov a nebude pravděpodobně vystavován průjezdu extrémně nerovným povrchem, musí být stabilita dostatečná. Uvnitř budov jsou v podstatě také nerovnosti v podobě prahů dveří, přejezdů z pevné podlahy na koberec, dilatačních spár velkých ploch apod. Určitě největší překážkou by mohl být přejezd prahu dveří. Na druhou stranu v požadavcích na robot není zmínka o tom, že by měl tyto všechny překážky zdolat a proto budeme uvažovat zdolání jen zbylých dvou případů, tedy přejezd z pevné podlahy na koberec a dilatačních spár.

Podvozek má být diferenciálního typu. Jeho podstata je popsána v kapitole 3.4 Diferenciální podvozek. Pro pohon používá dvě nezávislé pohonné jednotky a vyžaduje minimálně jeden opěrný bod. V našem případě to bude nejspíš ostruha. Robot bude mít půdorys jednoduchého obdélníkového tvaru, ve kterém budou vytvořeny výřezy pro hnací kola a opěrnou ostruhu. První návrh základní desky podvozku vypadá následovně:



Obr. 7 Náčrtek základní desky podvozku.

Toto řešení podvozku se nakonec ukázalo jako finální řešení, avšak bylo nutné přizpůsobit rozměry dle použitých pohonných jednotek.

Polotovarem základní desky bude plech o tloušťce 3mm. Je to z důvodu dostatečné pevnosti a odolnosti vůči zkroucení podvozku. Na této desce bude několik montážních otvorů pro upevnění dalších prvků robotu, zejména vnějšího pláště, elektroniky a v neposlední řadě hnacích jednotek a ostruhy.

### 5.2 Návrh pohonné jednotky

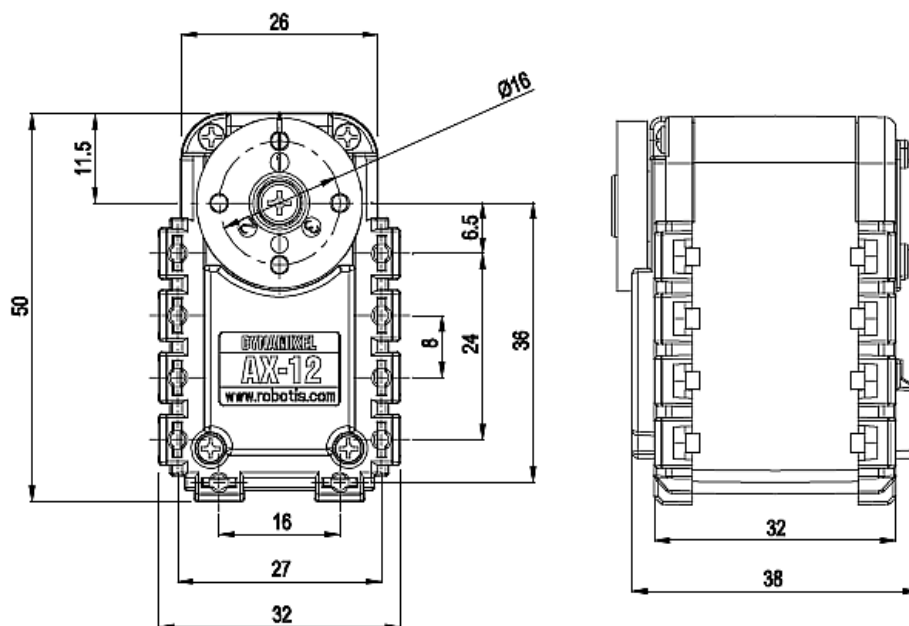
Pohonné jednotky mají být podle zadání dvě a mají být nezávislé. Po prozkoumání trhu s běžně dostupnými hnacími jednotkami pro roboty byly vybrány následující. První z nich je servomotor od firmy Dynamixel s označením AX-12. Tato jednotka má kompaktní rozměry, vhodné pro použití v navrhovaném robotu.



Obr. 8 Servomotor Dynamixel AX-12 [15].

### 5.2.1 Servomotor Dynamixel AX-12

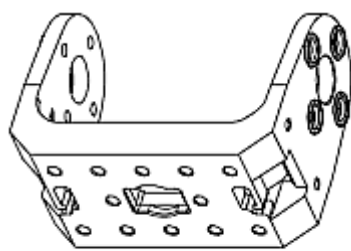
Servomotor Dynamixel je chytrý modulární pohon, který v sobě zahrnuje převodovku a stejnosměrný programovatelně řízený motor, vše koncipováno do jednoho funkčního celku. I přes kompaktní provedení disponuje toto servo vysokým točivým momentem. Tomu napomáhají ložiska osazená na výstupní hřídeli, která zároveň zvyšují celkovou účinnost motoru. Tělo je vyrobeno z vysoce kvalitních materiálů, aby bylo dostatečně pevné a odolné vůči působení velkých sil. Má také schopnost reagovat na změnu vnitřních stavů, jako je změna teploty nebo velikost napájecího napětí.



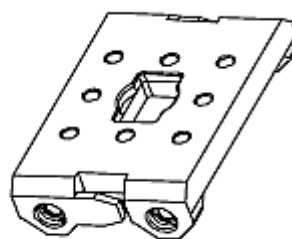
Obr. 9 Rozměry servomotoru Dynamixel AX-12 v mm [15].

Nastavení polohy a rychlosti otáčení servomotoru Dynamixel AX-12 lze provést s rozlišením 1024 poloh. Je poskytována zpětná vazba v podobě úhlu natočení, úhlové rychlosti a zatížení točivým momentem. Servo je dále vybaveno alarmem, který je schopen upozornit uživatele na odchylku od předem definovaných parametrů, např. změna vnitřní teploty, zátěže, napájecího napětí. Zároveň je schopno tyto problémy řešit, např. odpojením točivého momentu apod. Pro rychlou indikaci problému je servo vybaveno LED diodou [15].

Připojení komunikačního kabelu k servomotoru je velice snadné, komunikace dosahuje rychlosti až 1 Mbps. Poloha, rychlost a velikost točivého momentu může být nastavena pouhým jedním pakem, což umožňuje hlavnímu procesoru jednoduše ovládat několik servomotorů najednou [15].



OF-12SH



OF-12S

Obr. 10 Montážní rámy [15].

Spolu se servomotorem se dodává závěsný a montážní rám pro maximální variabilitu použití.

### Hlavní specifické parametry

K servomotoru byla dodána dokumentace, ze které byly patrné následující hlavní specifické parametry uvedené v tabulce:

Typ servomotoru	AX-12	
Hmotnost (g)	55	
Převodový poměr	1:254	
Vstupní napětí (V)	na 7V	na 10V
Celkový točivý moment (kg.cm)	12	16,5
Sekund/otočení o 60°	0,27	0,2

Tab. 1 Hlavní specifické parametry [15].

### Další technické parametry

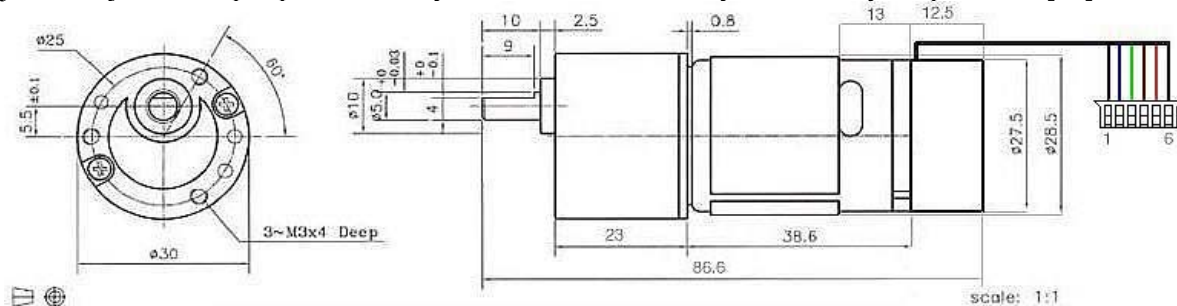
Pro upřesnění parametrů servomotoru lze použít následující parametry, které jsou uvedeny v [15]. Jedná se o parametry přesnosti, rozlišení snímače servomotoru, datové připojení a podobně.

- rozlišení úhlu natočení 0,35°
- pracovní úhel 300°, bez krajních poloh
- napájecí napětí 7V – 10V, doporučené 9,6V
- maximální proudové zatížení 900mA
- pracovní teplota -5°C - +85°C
- pracovní signál digitální pakety
- typ protokolu half-duplex asynchronní sériová komunikace (8bit, 1 stop bit, bez parity)
- ID 254 ID (0 ~253)
- Rychlost komunikace 7343bps – 1Mbps
- Zpětná vazba pozice, teplota, zátěž, vstupní napětí
- Materiál technické plasty

Bohužel, reálné použití těchto jednotek ukázalo, že je sice lze použít, avšak při jejich provozu vzniká nadměrný rušivý hluk, který není vhodný, např. pro plánované reprezentativní účely. Dále se zjistilo, že nevyhovují i z hlediska poskytovaného výkonu. Z tohoto důvodu se hledaly jiné pohonné jednotky, na stejném principu, podobných rozměrů, lepších parametrů, ale znatelně méně hlučné. Jako vhodná náhrada posloužil následující motor s označením EMG30.

### 5.2.2 EMG30

EMG30 je zkratka pro encoder, motor a gearbox (převodovku). Číslice 30 značí převodový poměr mezi motorem a výstupní hřídelí, tedy 30:1. Motor má pracovní napětí 12V. Tato pohonná jednotka je vhodná pro použití v malých nebo středně náročných robotických aplikacích [16].



Obr. 11 Rozměry EMG30 [16].

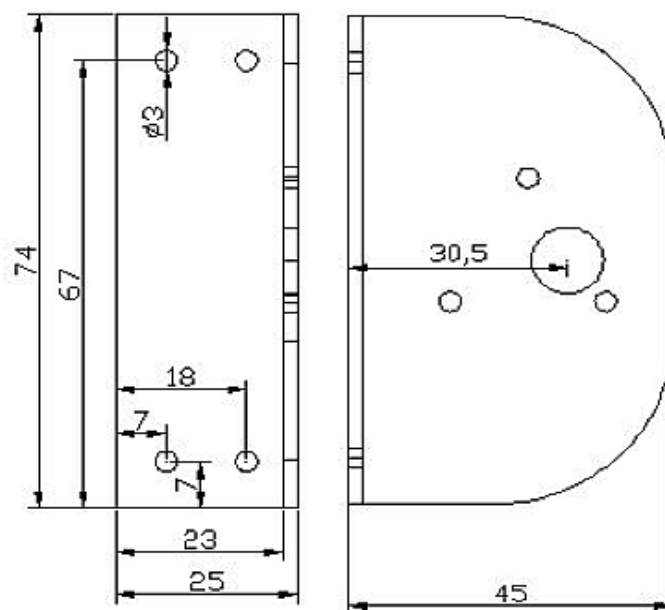
Motor je připojen 6-ti pinovým konektorem k napájecí a řídicí jednotce. Jeho zapojení je dle [16] následující:

- |           |     |                                 |
|-----------|-----|---------------------------------|
| • Fialový | (1) | Hallův senzor B výstupní napětí |
| • Modrý   | (2) | Hallův senzor A výstupní napětí |
| • Zelený  | (3) | Nulový vodič Hallových senzorů  |
| • Hnědý   | (4) | Napájení Hallových senzorů      |
| • Červený | (5) | + Motor                         |
| • Černý   | (6) | - Motor                         |

#### Technická specifikace EMG30

- |  |            |
|--|------------|
| • Jmenovité napětí                             | 12V        |
| • Jmenovité zatížení                           | 1,5kg.cm-1 |
| • Jmenovité otáčky                             | 170min-1   |
| • Jmenovitý proud                              | 530mA      |
| • Otáčky bez zátěže                            | 216min-1   |
| • Proud bez zátěže                             | 150mA      |
| • Proud při zastaveném motoru                  | 2,5A       |
| • Jmenovitý výkon                              | 4,22W      |
| • Počet signálů při otočení výstupního hřídele | 360 [16]   |

Spolu s pohonnou jednotkou je dodáván montážní rám pro snadnější upevnění k šasi robotu. Rozměry jsou uvedené na obrázku 12.

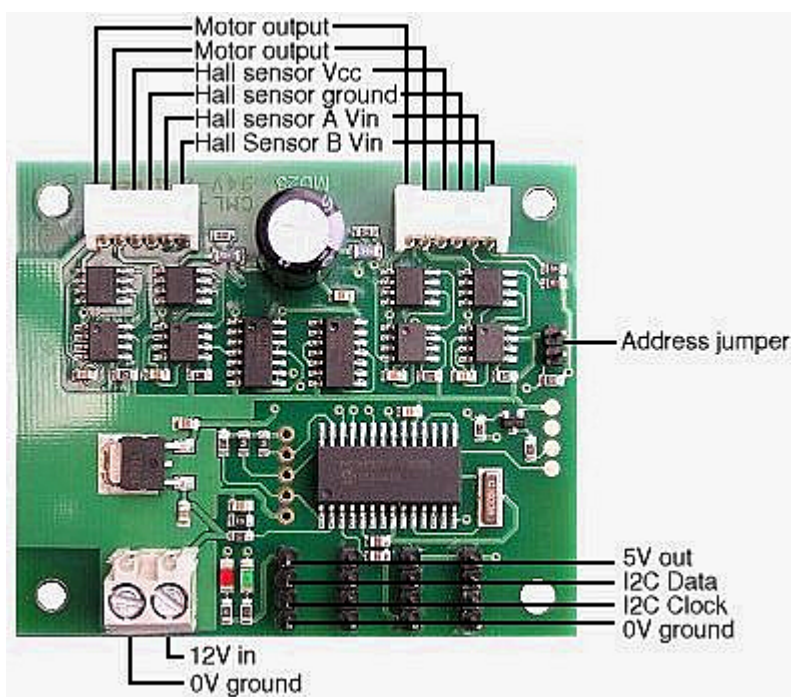


Obr. 12 Rozměrové schéma montážního rámu uvedené v mm [16].



Obr. 13 Montážní rám s motorem [16].

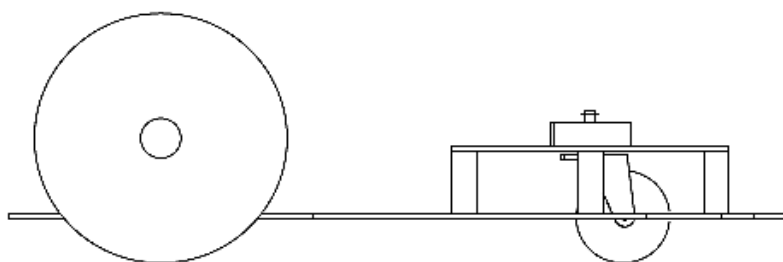
Motory jsou dodávány spolu s již zmiňovanou řídicí jednotkou, ke které se připojují pomocí 6-pinového konektoru, popsaného výše. Řídicí jednotka je na obr. 14. Přes tento integrovaný obvod dostávají motory signály k pohybu a zároveň odesílají data ze svých snímačů otáček výstupní hřídele.



Obr. 14 Řídicí a napájecí jednotka pro EMG30 [17].

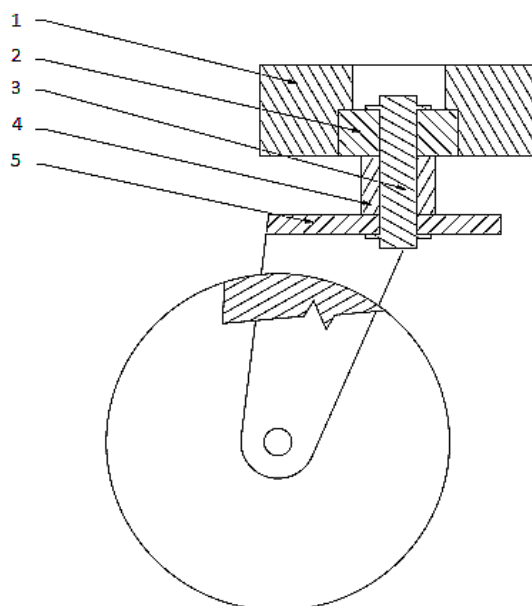
### 5.3 Opěrná ostruha

Opěrná ostruha slouží robotu jako třetí opěrný bod. Pro zajištění stability robotu je z principu nutné ke dvěma hnacím kolům přidat třetí bod, pasivní kolo. Více o principu diferenciálního podvozku je popsáno v kap. 3.4. Tato ostruha musí být dostatečně tuhá, protože bude částečně zatížena vahou celého robotu. Na druhou stranu se musí volně otáčet kolem své svislé osy, aby bylo zajištěno volné zatáčení robotu. Následuje obrázek 15 s možným provedením uchycení ostruhy k podvozku:



Obr. 15 Uchycení ostruhy.

Základem je modelářská ostruha používající se u modelů letadel. Ostruha je k samotné základní desce připevněna pomocnou deskou čtvercového tvaru. Tato deska slouží nejen pro upevnění ostruhy, ale i pro uchycení řídicí elektroniky. Na desce je připevněno pouzdro s ložiskem ostruhy pomocí čtyř šroubů M4. Schéma ostruhy je na obr. 16:

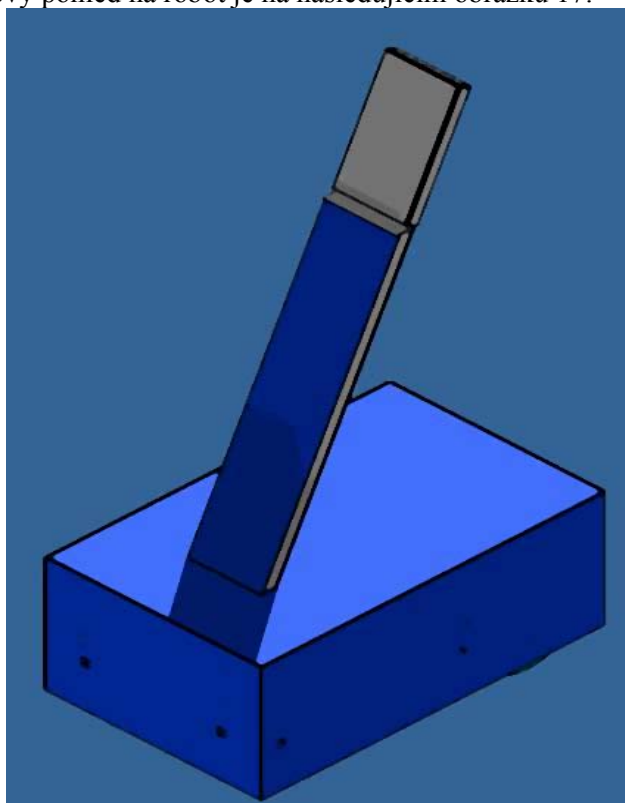


Obr. 16 Schéma ostruhy. 1 – pouzdro ložiska, 2 – ložisko, 3 – hřídel s pojistnými e-kroužky, 4 – rozpěrný váleček, 5 – ostruha.

#### 5.4 Návrh vnější konstrukce

Po návrhu základních částí podvozku a řízení je třeba navrhnout tvar a materiál, z kterého bude vnější konstrukce. Ta musí být velmi dobře zpracována, musí být účelná a v neposlední řadě reprezentativní.

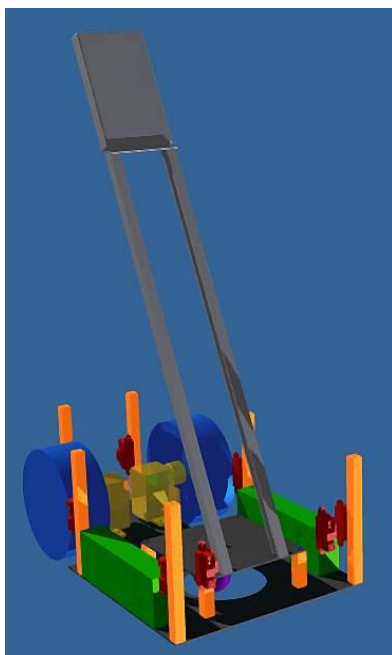
Při prvním návrhu vnější konstrukce (karoserie) podvozku se vycházelo z jednoduchého tvaru kvádrů. Toto řešení mělo být jednoduché, snadné na výrobu jednotlivých komponentů s nepříliš velkou hmotností. Celkový pohled na robot je na následujícím obrázku 17:



Obr. 17 První návrh vnější konstrukce.



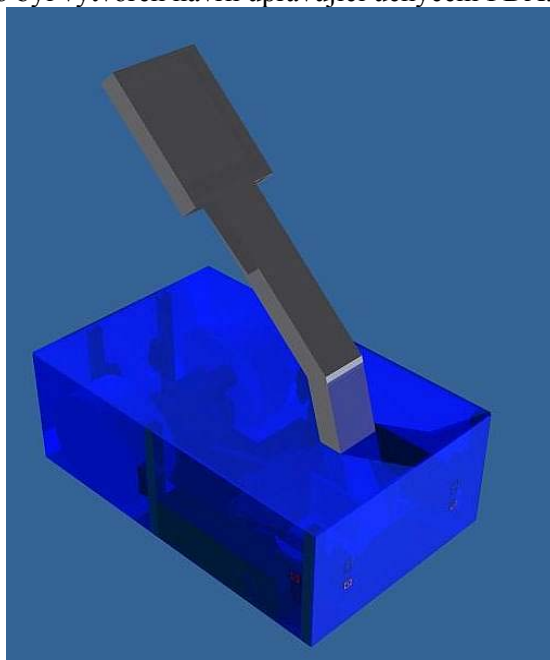
Takto vypadá vnější vzhled. Plášť robotu měl být vyroben z laminátu. K upevnění na základní desku mělo být použito pomocných sloupků, které jsou k ní připevněny šroubovým spojem. Tyto sloupky je možné využít i pro montáž některých použitých snímačů. Provedení je zobrazeno na obr. 18:



Obr. 18 Montážní sloupky (oranžově).

Na obr. 18 je taktéž naznačen návrh upevnění PDA, který by sloužil pro komunikaci s uživatelem. V této první verzi byla představa taková, že se tělo PDA vloží mezi dva shodné U-profilů.

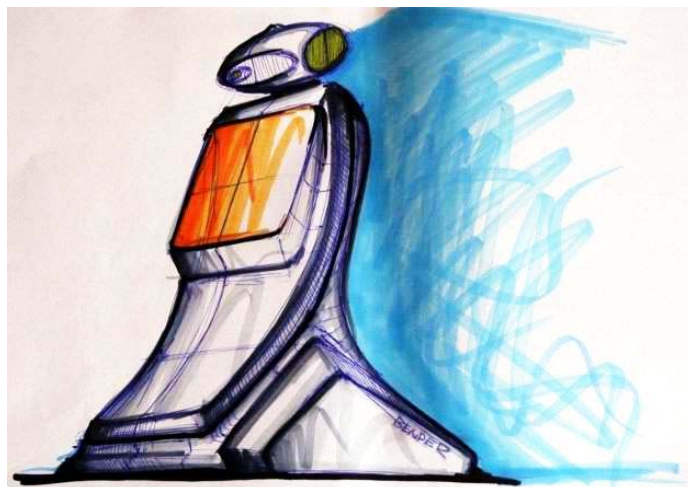
Následoval druhý, obdobný návrh. Původní myšlenka tvaru kvádrů pro dolní část robotu se nezměnila. Ovšem PDA zapuštěné ve dvou U-profilech nepůsobilo příliš esteticky a bylo nutné toto upevnění přepracovat. Proto byl vytvořen návrh upravující uchycení PDA.



Obr. 19 Upravené uchycení PDA.



Ovšem celkový dojem žádného řešení nebyl vyhovující. Hledal se naprosto jiný tvar vnější konstrukce. Po konzultaci s vedoucím diplomové práce a několika lidmi z oboru designu byl proveden následující návrh:



Obr. 20 Druhý návrh vnější konstrukce.

Tento vzhled byl inspirován dobře známým filmovým robotem Číslo 5 ze stejnojmenného amerického filmu. Robot má vytvořenou nadčasově vyhlížející hlavu, tělo a ve spodní části naznačené pojezdové pásy.

Po schválení konečného tvaru byl vytvořen model této konstrukce v modelovacím prostředí AutoDesk Inventor 2010, který je vidět na obrázku 21:



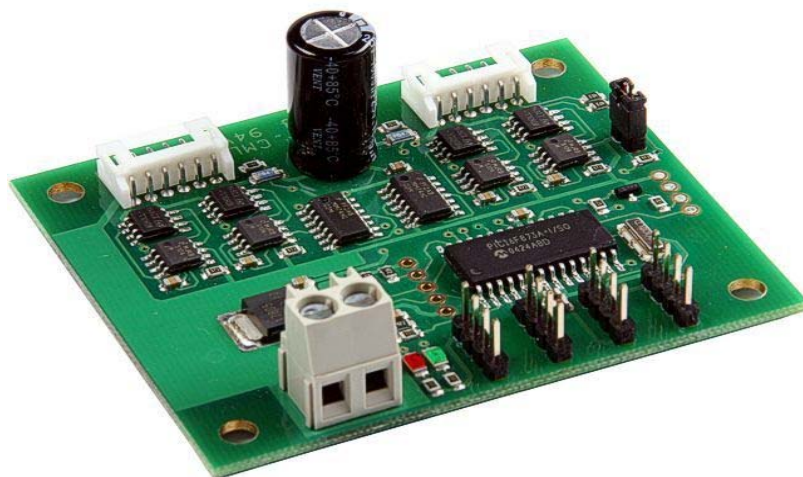
Obr. 21 Model druhého návrhu vnější konstrukce.

## 5.5 Návrh řídicího elementu

Řídicí element by měl rozhodovat o tom, jaká akce se provede a v jakém pořadí. Robot má být nástrojem pro testování indoor navigace a je tedy nutné zajistit možnost naprogramování, podle které se bude robot pohybovat. Vzhledem k tomu, že se jedná o poměrně jednoduché použití, bylo vybráno reaktivní řízení. To však není obsahem této diplomové práce a proto bude princip řízení popsán v několika málo následujících odstavcích. Řídicí obvod, který bude mít vlastnosti podobné chování reaktivního řízení, rozhodne na základě informací ze senzorů, podcílů a polohy robotu o tom, která z možných akcí se právě provede.

Realizace řídicího modulu je provedena na hardwarové platformě mikrořadiče ATmega128. V tomto čipu je naprogramován rozhodovací kód, který vyhodnocuje informace ze snímačů a rozhoduje o další akci. Úzce spolupracuje s řídicí jednotkou, která ovládá hnací motory EMG30, viz kap. 5.2.2.

Další důležitou součástí v elektronickém obvodu je řídicí jednotka ke dvěma motorům s enkodérem EMG 30. Její typové označení je MD23. Pracuje s napětím 12V pro napájení elektromotorů, ale pro svou vlastní činnost má 5V stabilizátor napětí pro logické obvody. Je schopna registrovat ujetou vzdálenost ve 32-bitovém čítači, což umožňuje zaznamenat až +-1800km dráhy s použitým kolem WH100. Rozlišení dráhy má hodnotu 0,9mm. Tímto obvodem je možné řídit i rychlost a zatačení robotu, což znamená rozdílné řízení každého motoru zvlášť. Podoba řídicí jednotky motorů je na obr. 22.



Obr. 22 Řídicí jednotka motorů MD23 [19].

Celý model robotu bude řízen pomocí výkonné jednotky s označením ATmega128 od ATMEL. Jedná se o 8-bitový microcontroller s desítkami užitečných funkcí. Jak uvádí zdroj [21], jednotka disponuje 128kB programovatelnou flash pamětí s možností současného čtení a zápisu, dále 4kB EEPROM, 4kB SRAM, 52 vstupně-výstupními linkami, 10-bitovým analogově-digitálním převodníkem atd. Do tohoto čipu se nahraje program, podle kterého se bude robot pohybovat a vykonávat jednotlivé pokyny.

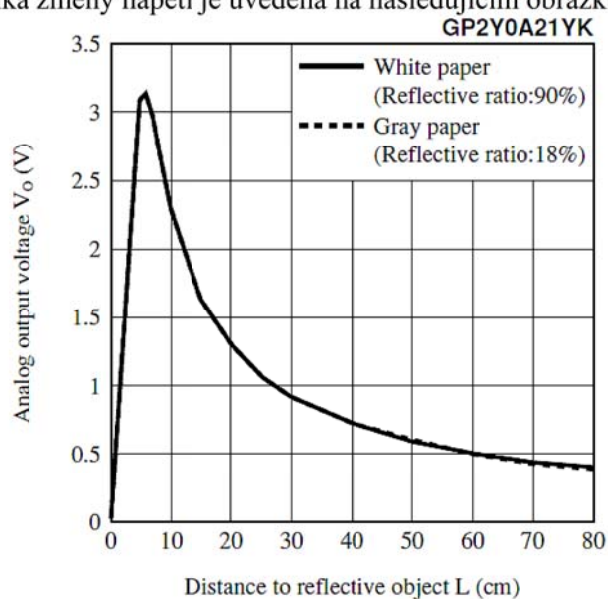
## 5.6 Návrh snímačů

Snímače jsou důležitou součástí konstruovaného robotu. Pro potřeby testování navigace má být robot vybaven snímači překážek. Na základě rešerše možných snímačů byl vybrán odrazový infrasenzor od firmy Sharp. Jeho typové označení je GP2Y0A21YK a slouží k určení vzdálenosti od překážky nebo objektu v jeho detekčním poli. Dle [18] dokáže určit vzdálenost od 10 do 80 cm.



Obr. 23 Odrazový infrasenzor Sharp [18].

Napájecí napětí tohoto snímače je 5V a maximální udávaný proud má hodnotu 30mA. Je to v podstatě převodník vzdálenosti na elektrický signál. Jeho výstupem je napětí, měnící se na základě vzdálenosti. Charakteristika změny napětí je uvedena na následujícím obrázku 24.



Obr. 24 Charakteristika výstupního napětí v závislosti na vzdálenosti [20].

Tento signál zaznamenává řídicí obvod a na základě změny napětí ze snímače vyhodnocuje vzdálenost robotu od dané překážky.



## 6 STATISTICKÝ MODEL POHYBU

Jak bylo napsáno v kapitole 4 Použité technologie, provede se v rámci této diplomové práce statistický model pohybu. Tento model bude sloužit pro testování indoor navigace. Při zpracování dat se budou porovnávat data o poloze robotu naměřená ze snímačů se skutečně naměřenými. Výsledkem má být pravděpodobnost, se kterou robot dojde do právě určené polohy při stejném způsobu pohybu. Cílem je zjistit, zda lze data linearizovat, to znamená například, zda při jízdě rovně po dobu 6 sekund bude rozptyl hodnot dvakrát větší než při jízdě rovně po dobu pouze 3 sekund.

Experimenty budou zaneseny do souřadnic s osami  $x$  a  $y$ , kde bude zaznamenána výchozí poloha a poloha dojezdu. Výstupem experimentu má být střední hodnota jednotlivých experimentů v obou osách, dále střední hodnota úhlu natočení robotu vůči výchozí poloze a kovarianční matice, vyjadřující rozptyl hodnot a jejich vzájemnou závislost. Tato data se použijí pro model pohybu robotu a budou použity v dalších ověřovacích experimentech.

### 6.1 Popis experimentu

Pro získání potřebných údajů, které se následně vyhodnotí, je nutné provést experiment. Ten spočívá v tom, že se do řídicího obvodu robotu nahraje posloupnost povelů, podle kterých se bude pohybovat. Vzhledem k tomu, že je to triviální pokus, příkazy jsou ve smyslu „jed' rovně po dobu 3 sekund“ nebo „zatáčeš doleva po dobu 6 sekund“ a podobně. Tato slovní vyjádření pro robot znamenají v prvním případě otáčet oběma koly stejně rychle po dobu tří sekund, ve druhém šest sekund točit pravým kolem rychleji než levým s tím, že levé kolo bude mít nenulový počet otáček za minutu.

Samotný experiment potřebuje určitý prostor. Tímto prostorem byla zvolena laboratoř na Ústavu automatizace a informatiky. Povrch, na kterém byl pokus proveden, bylo linoleum, u kterého se předpokládá ideálně rovný povrch, bez nečistot. Na pokusný povrch bylo nutné zanést výchozí (startovní) polohu. Výchozí poloha, určená osami  $x$  a  $y$ , byla narýsována tužkou podle pravítka na linoleum.

Následuje proces získávání dat. Data se získávají ze dvou zdrojů tak, aby se dala porovnat. První zdroj jsou hodnoty koncové polohy robotu naměřené ve skutečnosti. Druhým zdrojem dat jsou hodnoty naměřené snímači robotu. Z počtu impulsů lze spočítat ujetou vzdálenost a při porovnání údajů od každého hnacího kola lze určit také natočení robotu vůči původní pozici. Všechna data byla zaznamenávána do souboru \*.ods, tedy OpenOffice tabulkového procesoru, kde byla později zpracována.

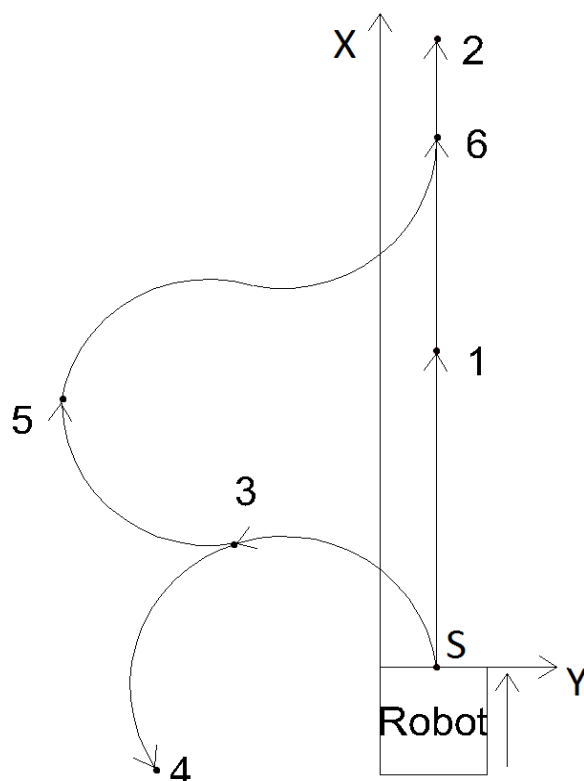
### 6.2 Provedení experimentu

Naměřené hodnoty jsou rozděleny podle provedeního experimentu. Experimentů bylo celkem 6, každý s různým programem obsahujícím kód, jak a kam se má robot pohybovat. Byly zvoleny tyto testovací trasy pohybu:

- přímý směr pohybu po dobu 3 sekund
- přímý směr pohybu po dobu 6 sekund
- zatáčení vlevo po dobu 3 sekund
- zatáčení vlevo po dobu 6 sekund
- zatáčení 3 sekundy vlevo, následně 3 sekundy vpravo
- zatáčení 3 sekundy vlevo, následně 3 sekundy vpravo, opět 3 sekundy vpravo, následně 3 sekundy vlevo

Při experimentu se uvažoval ten fakt, že jízdou robotu při zatáčení vpravo po dobu 3 a 6 sekund, se získají přibližně stejná data jako pro provedený experiment při zatáčení vlevo. Proto se tento experiment ani neprováděl. Stejně tak dva následující experimenty s opačným směrem zatáčení nebyly provedeny ze stejného důvodu. Počet pokusů při každém způsobu jízdy byl pro objektivnost výsledků stanoven na 30.

Pro představu přibližné dráhy jsou na následujícím obrázku 25 naznačeny trasy pohybu.



Obr. 25 Trasy pohybu, 1 – rovně 3s, 2 – rovně 6s, 3 – doleva 3s, 4 – doleva 6s, 5 – doleva 3s / doprava 3s, 6- doleva 3s / doprava 3s / doprava 3s / doleva 3s.

Při experimentech byl použit software OpenOffice 3.2.0, konkrétně jeho tabulkový procesor Calc. Ten sloužil pro zaznamenávání naměřených hodnot a pro přepočet na mezi sebou porovnatelné hodnoty. Dále software Matlab 2009 pro výpočet kovariančních matic, středních hodnot a vygenerování názorných grafů. Software byl použit na počítači o této konfiguraci:

- OS: Windows 7
- CPU: AMD Athlon II 250 X2 @ 3.0 Ghz
- RAM: 4GB
- GPU: nVidia GTX260

### 6.3 Příprava a průběh experimentu

Příprava experimentu vyžadovala několik úkonů. Bylo nutné nachystat prostředí, ve kterém bude pokus prováděn, a připravit robot.

Vhodným prostředím, jak již bylo popsáno v kap. 6.2 Provedení experimentu, byla zvolena laboratoř s podlahou, která měla jako povrch linoleum. Na tuto podlahu byla narýsováním vyznačena výchozí poloha robotu, ze které bude pokaždé spuštěn. Dále bylo nutné určit přibližnou polohu, kam robot dojede. Tato poloha byla důležitá z důvodu umístění milimetrového papíru, z kterého se odečítala konečná dojezdová vzdálenost. K získání této polohy došlo tak, že se přibližně 5x spustil robot z výchozí pozice s nahráním programem a do místa přibližného dojezdu se přilepil dostatečně velký milimetrový papír. Poloha samotného milimetrového papíru se zaznamená vůči výchozí poloze.

Následně se uvedl robot do provozu schopného stavu. Z předchozích kapitol je patrná mechanická konstrukce, která byla osazena elektronikou a řídicím obvodem ostatními členy týmu pracujícími na projektu testování indoor navigace.

Před samotným experimentem bylo nutné zapojit plně nabitý akumulátor. Tento akumulátor má jmenovité napětí 12V a jeho hodnota byla v průběhu experimentu sledována. Poté se musel přes komunikační rozhraní nahrát do řídicího obvodu robotu program, který svým spuštěním určoval, které hnací kolo robotu se má točit, jak rychle a po jakou dobu. Spuštění tohoto programu spočívalo v restartování řídicího obvodu, což se provádělo vypnutím a zapnutím hlavního spínače (levý spínač

vzadu) na plášti robotu.

Aby bylo možno porovnat naměřená data o dojezdu s daty získanými ze snímačů motorů, bylo nutné vytvořit komunikaci mezi robotem a počítačem v laboratoři pomocí technologie bluetooth. Počítač se systémem Windows (C) XP vybavený tímto rozhraním zaznamenával data naměřená robotem. Postup spárování je následující:

1. Spustit předem nainstalovaný program BlueSoleil
2. Vyhledat a spárovat bluetooth vysílač robotu s počítačem
3. Spustit okno terminálu
4. Vytvořit nové připojení s parametry:
  - Rychlost: 57600 baud/s
  - Komunikační rozhraní: COM port 9
5. Kliknout na tlačítko „Připojit“

Po úspěšném navázání spojení se v okně terminálu zobrazuje při každém pokusu napětí baterie a dále 32-bitový formát počátečního a koncového stavu počtu impulzů od snímače otáček každého motoru. Každý motor má snímač otáček výstupního hřídele. Dle kap. 5.2.2 má 360 signálů na jednu otáčku. Tyto pulzy jsou snímány absolutně. Proto bylo třeba odečíst při každém kroku počáteční údaj, údaj po každé akci (např. po každém 3s kroku nebo při změně směru) a konečný stav. Vzhledem k tomu, že hodnoty odečtené v terminálu byly ve tvaru 32-bitového čísla, bylo nutné je přepočítat na počet impulzů. Příklad naměřených hodnot:

- počáteční stav: 0.0.0.8
- konečný stav: 0.0.123.243

Počet impulsů byl tedy spočítán jako koncová hodnota minus počáteční hodnota a to následovně:

$$\begin{aligned} & [(0 \cdot 16777216) + (0 \cdot 65536) + (123 \cdot 256) + 243] \\ & - [(0 \cdot 16777216) + (0 \cdot 65536) + (0 \cdot 256) + 8] \\ & = 31731 - 8 = 31723 \end{aligned}$$

Výsledný počet impulsů je tedy 31723. Tyto impulsy se dále přepočítávaly na ujetou vzdálenost. Vycházelo se z těchto faktů:

- Počet impulsů na otáčku: 360
- Průměr hnacích kol: 100mm

Použije se jednoduchý vzorec, kterým se určí ujetá vzdálenost:

$$L = i \cdot \pi \cdot D$$

kde  $L$  je ujetá vzdálenost v metrech,  $i$  je počet impulsů a  $D$  je průměr hnacího kola v metrech. Tyto hodnoty ujeté vzdálenosti každého hnacího kola se použily pro výpočet konečné polohy tak, aby se daly porovnat s polohou skutečně naměřenou.

Následuje postup úkonů, který byl po nahrání požadovaného programu pro všechny experimenty shodný:

1. Umístění robotu do výchozí polohy
2. Restartování řídicího obvodu a rozjezd robotu
3. Vyčkání do doby, než robot zcela zastaví
4. Odečet polohy předních krajních rohů na milimetrovém papíru
5. Zápis výsledků do tabulkového editoru
6. Odečet signálů v terminálu počítače
7. Zápis výsledků do tabulkového editoru

Během experimentu se kontroloval stav napětí akumulátoru robotu. Nízké napětí (pod 11V) by mohlo mít vliv na přesnost výsledků.

## 6.4 Výpočet statistického modelu pohybu

Celý proces vytváření statistického modelu pohybu začal určením polohy referenčního bodu. To je hmotný bod, vyznačený přímo na konstrukci robotu, pomocí kterého se odlišují jednotlivé pokusy. Referenčním bodem byl zvolen střed přední (ve směru pohybu) spodní hrany pláště robotu.



Obr. 26 Referenční bod

Koncová poloha referenčních bodů je závislá na prováděném experimentu a je ovlivněna několika chybovými faktory. Jedním z nich může být chyba při odečtu hodnot polohy z milimetrového papíru, mechanická nepřesnost otáčení kol (vůle v převodovce motoru), prokluz kol vůči povrchu nebo také nepřesné postavení robotu do výchozí polohy. Při pohybu robotu vnáší do výsledné polohy chybu i vliv odvalování ostruhy. Ovšem na druhou stranu tyto nepřesnosti vznikají i za běžného použití robotu, při jeho pohybu. Proto je nutné vytvořit statistický model pohybu, který nám poskytne informaci o případné konečné poloze při předem stanoveném způsobu pohybu, s určitou pravděpodobností.

Pro získání informací o statistickém modelu pohybu bylo nutné naměřená data, která jsou zaznamenaná v tabulkovém editoru, zpracovat. Postup při zpracování dat pro každou serii pokusů v tabulkovém procesoru pro každý experiment je následovný:

1. Určení polohy referenčního bodu ze skutečně naměřených hodnot v souřadnicích  $x$ ,  $y$ .
2. Určení polohy referenčního bodu z počtu impulsů od snímačů v souřadnicích  $x$ ,  $y$ .
3. Výpočet úhlu natočení vůči výchozí poloze z naměřených hodnot a z počtu impulsů.

Tyto hodnoty se použily pro další zpracování v programu Matlab 2009. V tomto programu se vypočítávaly tyto hodnoty:

1. Střední hodnota naměřených dat v ose  $x$ ,  $y$ , úhlu natočení.
2. Výpočet kovarianční matice z hodnot v ose  $x$ ,  $y$  a úhlu natočení.
3. Generování náhodných hodnot pouze pro hodnoty v ose  $x$ ,  $y$  s Gaussovým rozdělením.
4. Rozdělení generovaného pole hodnot na několik oblastí.
5. Výpočet četnosti výskytu generovaných hodnot v těchto oblastech.

Poslední akcí bylo vykreslení názorného grafu, kde byla zobrazena četnost hodnot vygenerovaných v osách  $x$  a  $y$ . Tyto postupné výpočty se aplikovaly na každou sérii výpočtů. Dle kapitoly 6.2 Provedení experimentu je 6 serií experimentů, každý tento výpočet proběhl zvlášť pro skutečně naměřené hodnoty a hodnoty získané ze snímačů robotu. Výsledné hodnoty a grafy jsou uvedeny v následující kapitole.



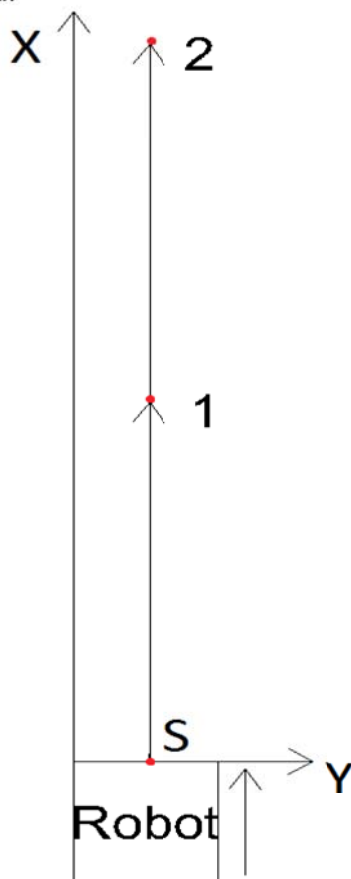
## 7 VYHODNOCENÍ PROVEDENÝCH EXPERIMENTŮ

V této kapitole budou popsány výsledky jednotlivých měření a grafy. Jak bylo uvedeno v kapitole 6.2, celkem se provedlo šest experimentů, každý čítal 30 pokusů pro objektivnost výsledků. Z údajů skutečně naměřené polohy a údajů ze snímačů robotu se počítala střední hodnota pro osu  $x$ ,  $y$  a úhel natočení pro každý experiment. Ze stejných dat se také vypočítala kovarianční matice s rozptyly pro každou pozorovanou veličinu. U každého experimentu a každého pokusu byla výchozí poloha referenčního bodu v nulové poloze v ose  $x$  a 0,15 m v ose  $y$ . Na každém schématu trasy je označena jako bod S o poloze  $[0; 0,15]$ . Všechny hodnoty na osách jsou v metrech. Ve všech případech se uvažuje také nulový úhel natočení robotu. Udávaná hodnota případné odchylky natočení v koncové (měřené) poloze je udávána v radiánech.

Ze středních hodnot a kovariančních matic se následně náhodně generovalo 10 000 hodnot koncové polohy s normálním (Gaussovým) rozdělením. Četnosti těchto hodnot koncové polohy jsou zobrazeny v grafech v následujících kapitolách. První serií experimentů byla jízda přímým směrem po dobu 3 sekundy.

### 7.1 Jízda přímým směrem po dobu 3 a 6 sekund

Schéma trasy pohybu robotu:



Obr. 27 Jízda rovně po dobu 3 sekund do bodu 1, po dobu 6 sekund do bodu 2.

Vypočítané střední hodnoty:

		X	Y	$\varphi$
Jízda 3 sekundy rovně do bodu 1	Skutečně naměřené hodnoty	0,7078	0,1633	0,0091
	Hodnoty ze snímačů	0,7222	0,1519	0,0053
Jízda 6 sekund rovně do bodu 2	Skutečně naměřené hodnoty	1,4608	0,1502	0,0126
	Hodnoty ze snímačů	1,4608	0,1502	0,0002

Tab. 2 Střední hodnoty pro jízdu přímým směrem po dobu 3 a 6 sekund.

Z tabulky je vidět, že při porovnání středních hodnot v ose x, tedy vzdálenosti, do které robot dojel za dobu 3 sekund, je rozdíl přibližně 1,4 cm. To znamená, že podle snímačů si robot „myslí“ že je o tuto hodnotu dále, než je skutečnost. V ose y byla poloha výchozího bodu 0,15m. Při měření polohy v této ose bylo zjištěno, že robot uhýbá doprava. Svědčí o tom hodnota o 1,6 cm větší oproti výchozí poloze. Naopak podle snímačů je poloha o pouhé 2 mm odchýlená od výchozí. Při pohledu na hodnoty úhlu natočení v radiánech od výchozí polohy je opět vidět, že podle snímačů je úchylka menší, pouhých 0,0053 rad, což v přepočtu představuje  $0^{\circ}18'13,20$  stupňů. Toto natočení vzniklo vlivem nežádoucího zatáčení robotu.

Při jízdě přímým směrem po dobu 2x delší, tedy 6s, dojde robot do vzdálenosti 1,4608 m skutečně i podle snímačů. Budeme vycházet z toho, že by měl dojet i do 2x delší vzdálenosti než po dobu 3 sekund. Tato vzdálenost je však přibližně o 4,5 cm delší u naměřených hodnot, ale jen o 2 cm delší, než u hodnot naměřených robotem. Je z toho tedy vidět, že podle snímačů je poloha robotu přesnější než skutečně naměřená. Bohužel, nyní nelze říci, zda tyto hodnoty jsou v rámci tolerance, zda jsou v pořádku nebo příliš velké. O jejich správnosti v rámci tolerance lze hovořit ve chvíli, kdy bude známá přesnost použité technologie lokalizace.

Kovarianční matice pro jízdu přímým směrem po dobu 3 sekund:

$$\text{Skutečně naměřené hodnoty: } \begin{bmatrix} 0,0332 & -0,0037 & -0,0261 \\ -0,0037 & 0,1385 & 0,1959 \\ -0,0261 & 0,1959 & 0,4801 \end{bmatrix} \cdot 10^{-4}$$

$$\text{Hodnoty ze snímačů: } \begin{bmatrix} 0,0077 & 0,0090 & 0,0248 \\ 0,0090 & 0,0385 & 0,1065 \\ 0,0248 & 0,1065 & 0,2949 \end{bmatrix} \cdot 10^{-4}$$

Kovarianční matice pro jízdu přímým směrem po dobu 6 sekund:

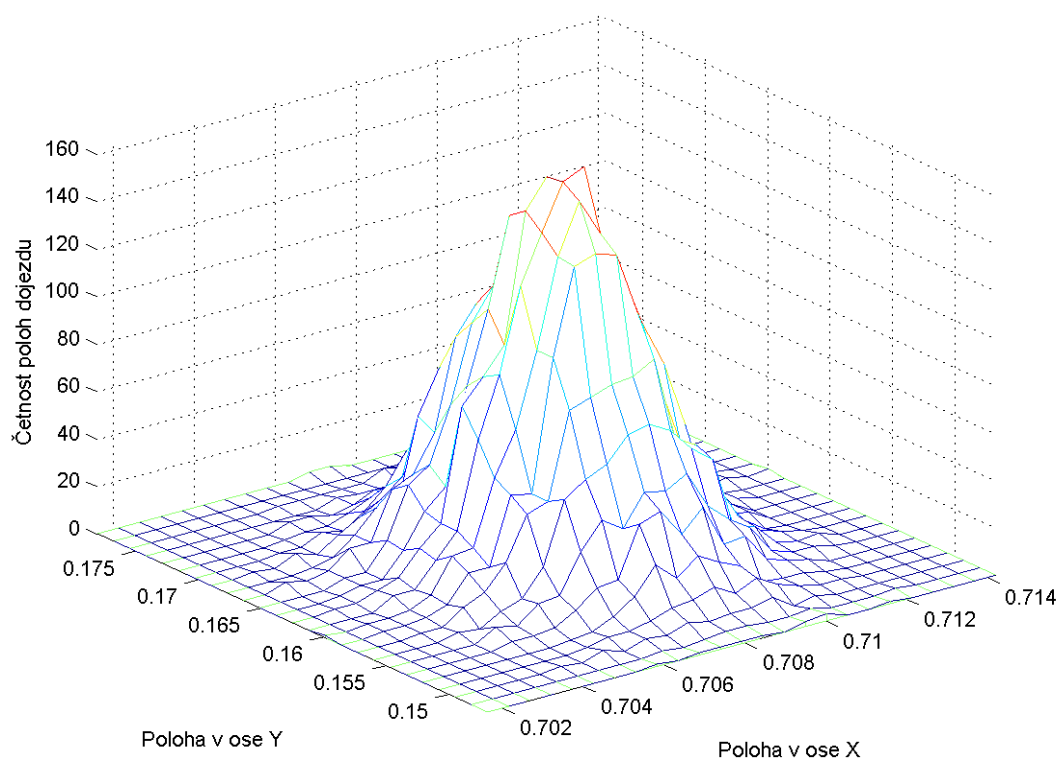
$$\text{Skutečně naměřené hodnoty: } \begin{bmatrix} 0,0299 & 0,0286 & -0,0089 \\ 0,0286 & 0,1889 & 0,0381 \\ -0,0089 & 0,0381 & 0,6058 \end{bmatrix} \cdot 10^{-4}$$

$$\text{Hodnoty ze snímačů: } \begin{bmatrix} 0,0297 & 0,0301 & 0,0412 \\ 0,0301 & 0,1844 & 0,2526 \\ 0,0412 & 0,2526 & 0,3459 \end{bmatrix} \cdot 10^{-4}$$

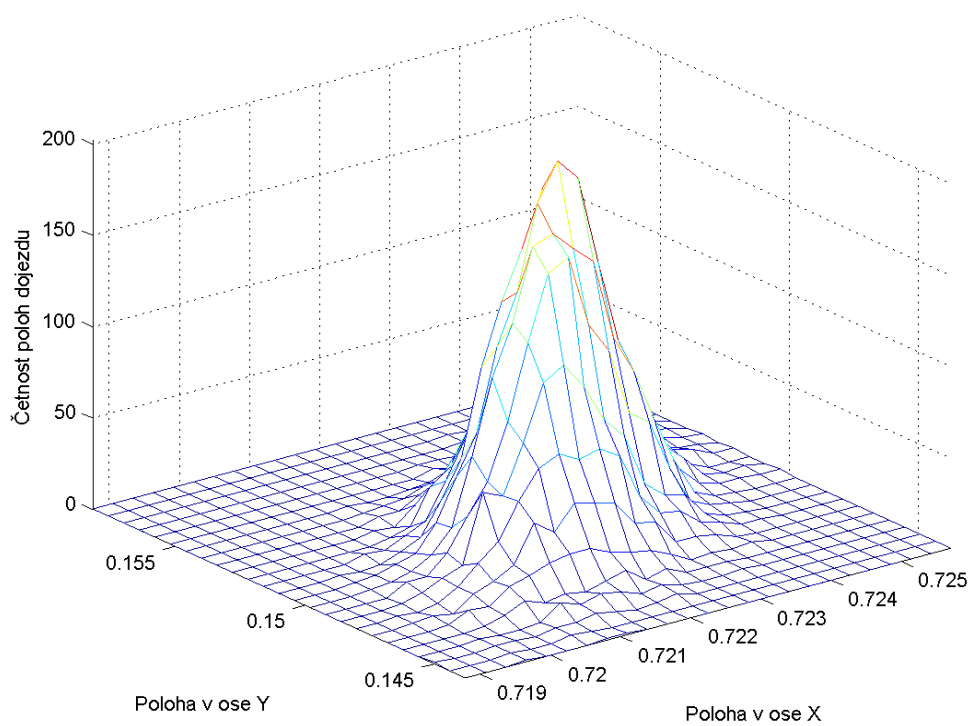
U každé kovarianční matice je na hlavní diagonále uveden rozptyl hodnot x, y a  $\varphi$ . Ostatní prvky matice jsou čísla vyjadřující vzájemnou závislost mezi analyzovanými hodnotami. Nulová hodnota vyjadřuje nezávislost. Větší číslo určuje také větší závislost a naopak. Kladné číslo vyjadřuje tu skutečnost, že při zvětšování první hodnoty se závisle zvětšuje i druhá hodnota. Naopak záporná hodnota říká, že při zvětšování první hodnoty druhá klesá.

Při pohledu na kovarianční matice je vidět, že rozptyly hodnot naměřených snímačů jsou u obou způsobů jízdy menší než rozptyly skutečně naměřených hodnot. Tento fakt opět svědčí o tom, že robot podle snímačů dojde do přesnější polohy než je skutečnost.

## 7.2 Grafy četností pro jízdu přímým směrem po dobu 3 sekund

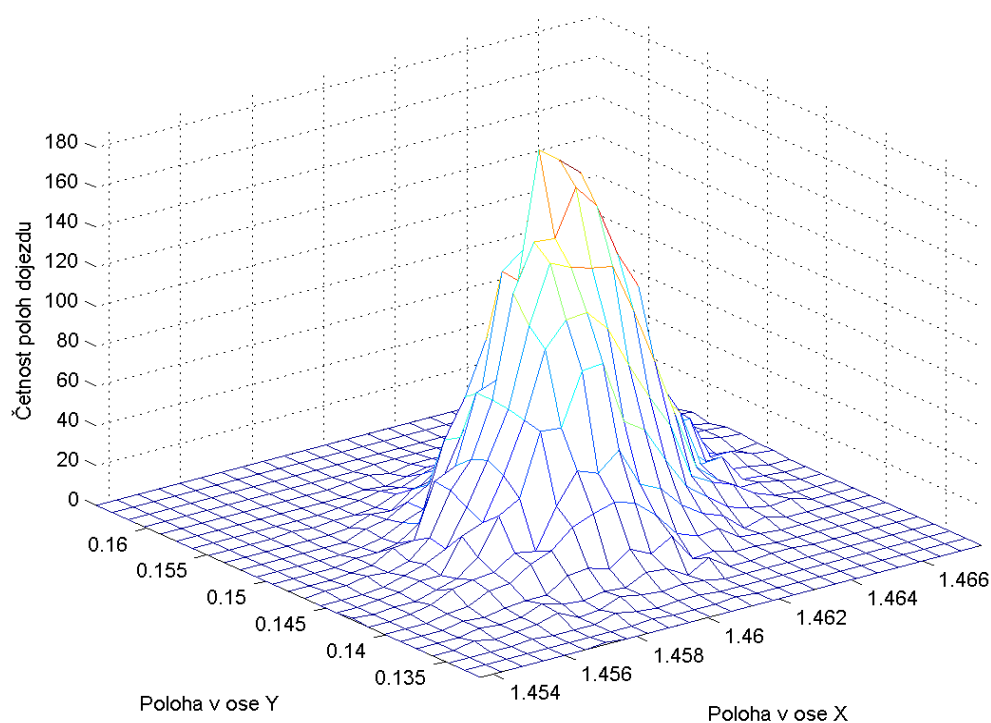


Obr. 28 Vygenerované četnosti ze skutečně naměřených hodnot.

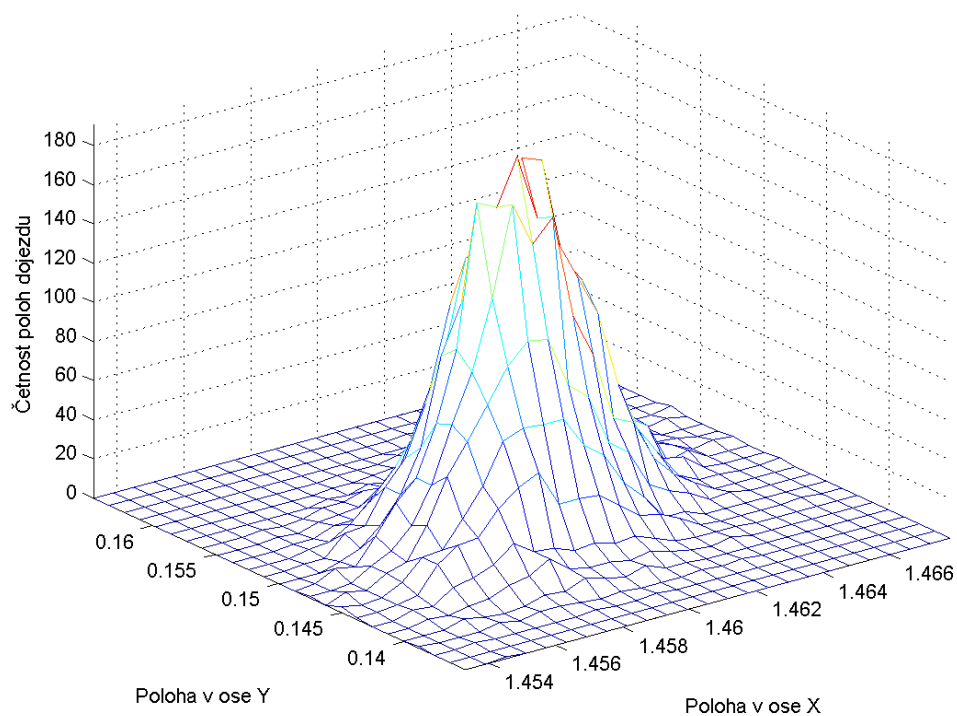


Obr. 29 Vygenerované četnosti z hodnot naměřených snímači.

### 7.3 Grafy četností pro jízdu přímým směrem po dobu 6 sekund



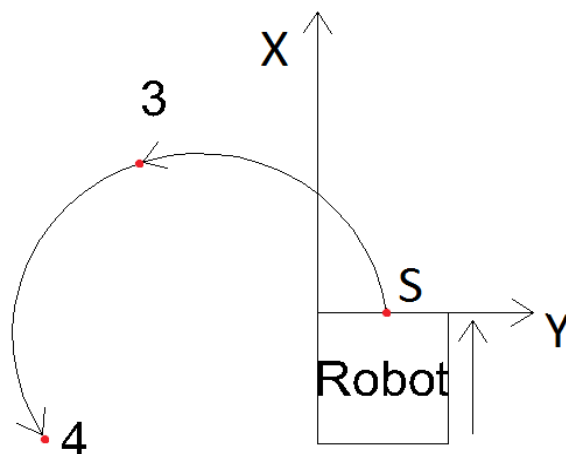
Obr. 30 Vygenerované četnosti ze skutečně naměřených hodnot.



Obr. 31 Vygenerované četnosti z hodnot naměřených snímači.

#### 7.4 Jízda vlevo po dobu 3 a 6 sekund

Schéma trasy:



Obr. 32 Schéma trasy pro zatáčení doleva.  
Bod 3 – po dobu 3 sekundy, bod 4 – po dobu 6 sekund.

Vypočítané střední hodnoty:

		X	Y	$\varphi$
Jízda 3 sekundy vlevo do bodu 3	Skutečně naměřené hodnoty	0,2640	-0,4032	-2,3783
	Hodnoty ze snímačů	0,2742	-0,3908	-2,2030
Jízda 6 sekund vlevo do bodu 4	Skutečně naměřené hodnoty	-0,3510	-0,3683	-4,5605
	Hodnoty ze snímačů	-0,3283	-0,2605	-4,4906

Tab. 3 Střední hodnoty pro jízdu vlevo po dobu 3 a 6 sekund.

Při jízdě vlevo po dobu 3 sekund je z tabulky 3 patrné, že rozdíl mezi středními hodnotami v ose x, y je v řádu 1 cm. V úhlu natočení koncové polohy se střední hodnoty liší přibližně o 0,17 rad, což činí rozdíl 9°44'.

Hodnoty polohy naměřené při dvakrát delší jízdě vlevo se liší v ose x o 2 cm, v ose y téměř o 11 cm. Znamená to, že podle snímačů se robot pohybuje po oblouku o menším poloměru než ve skutečnosti. Rozdíl mezi naměřenými úhly natočení je 0,07 rad, přibližně 4°. Opět nelze říci, zda jsou hodnoty dostatečně přesné či nikoliv, záleží na přesnosti použité metody lokalizace.

Kovarianční matice pro jízdu vlevo po dobu 3 sekund:

$$\text{Skutečně naměřené hodnoty:} \begin{bmatrix} 0,1081 \cdot 10^{-3} & 0,0359 \cdot 10^{-3} & -0,0025 \\ 0,0359 \cdot 10^{-3} & 0,0171 \cdot 10^{-3} & -0,0009 \\ -0,0025 & -0,0009 & 0,0673 \end{bmatrix}$$

$$\text{Hodnoty ze snímačů:} \begin{bmatrix} 0,0366 & 0,0056 & 0,1160 \\ 0,0056 & 0,0065 & 0,0262 \\ 0,1160 & 0,0262 & 0,3801 \end{bmatrix} \cdot 10^{-4}$$

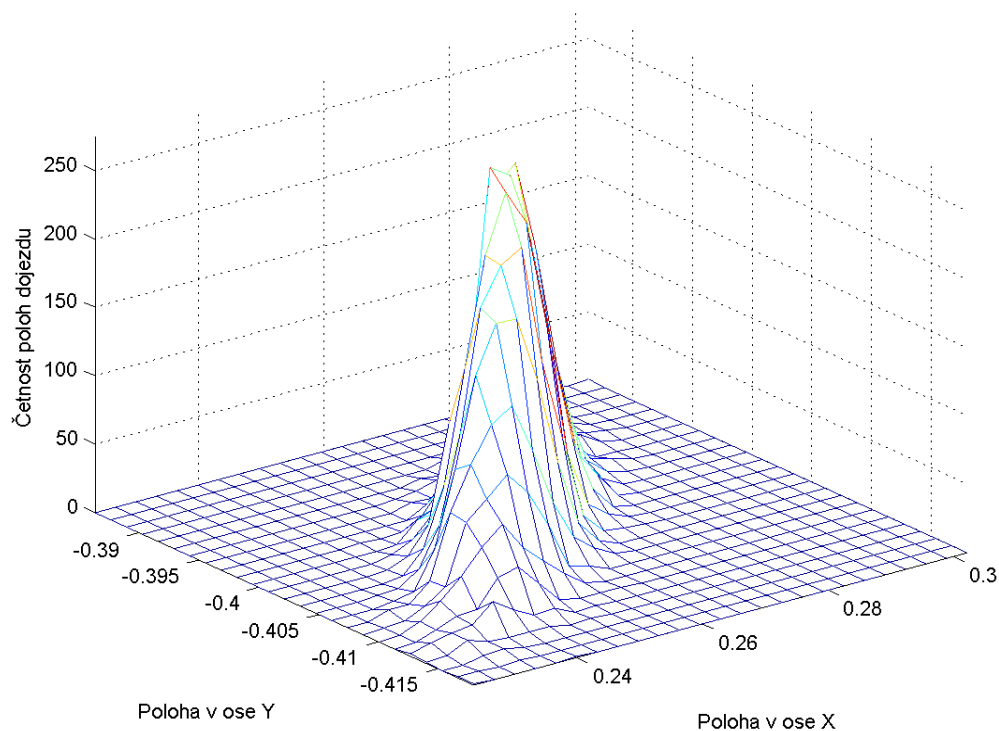
Kovarianční matice pro jízdu vlevo po dobu 6 sekund:

$$\text{Skutečně naměřené hodnoty:} \quad \begin{bmatrix} 0,1495 \cdot 10^{-3} & -0,3199 \cdot 10^{-3} & 0,0022 \\ -0,3199 \cdot 10^{-3} & 0,9082 \cdot 10^{-3} & -0,0064 \\ 0,0022 & -0,0064 & 0,0531 \end{bmatrix}$$

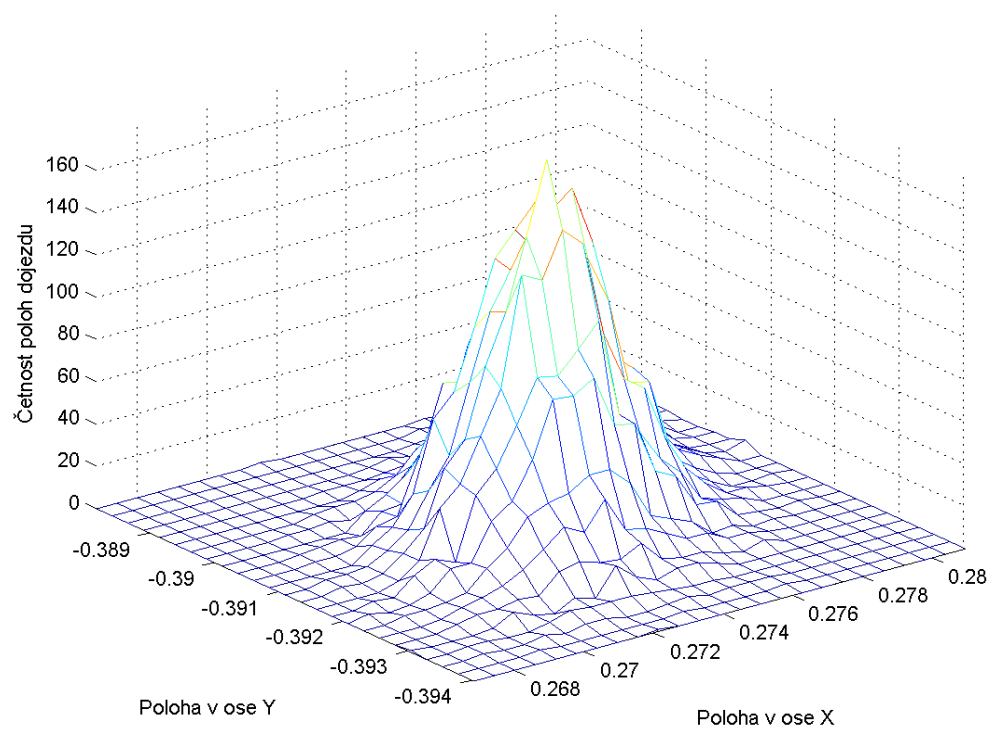
$$\text{Hodnoty ze snímačů:} \quad \begin{bmatrix} 0,0017 \cdot 10^{-1} & -0,0041 \cdot 10^{-1} & 0,0015 \\ -0,0041 \cdot 10^{-1} & 0,1755 \cdot 10^{-1} & -0,0430 \\ 0,0015 & -0,0430 & 0,1068 \end{bmatrix} \cdot 10^{-3}$$

Podle kovariančních matic je opět patrná skutečnost, že rozptyly hodnot měřených snímači robotu jsou menší. Z toho plyne, že se robot nachází v přesnější poloze než ve skutečnosti.

### 7.5 Grafy četností pro jízdu vlevo po dobu 3 sekund

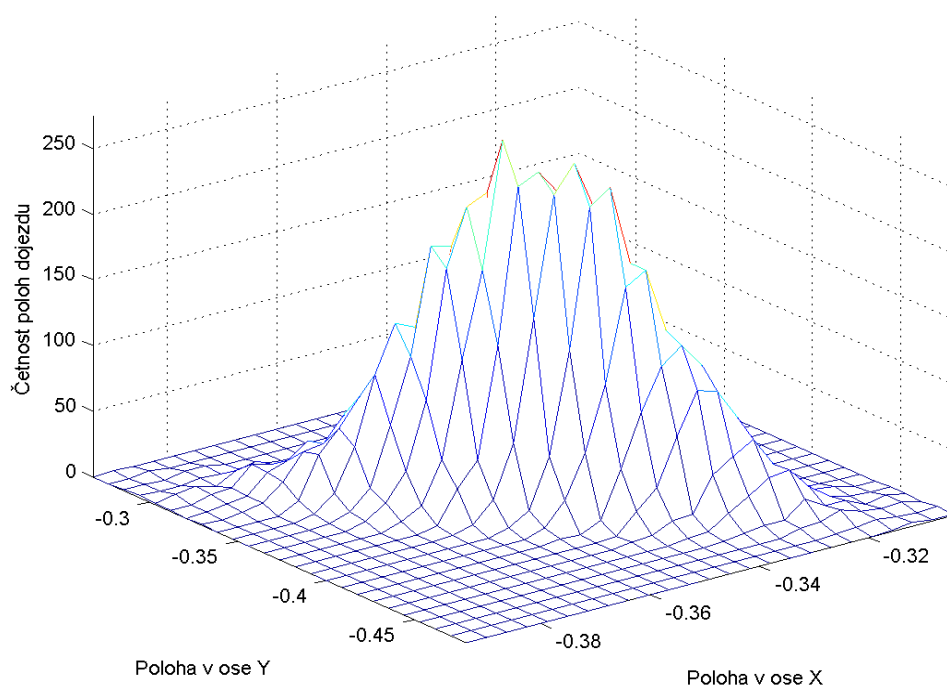


Obr. 33 Vygenerované četnosti ze skutečně naměřených hodnot.

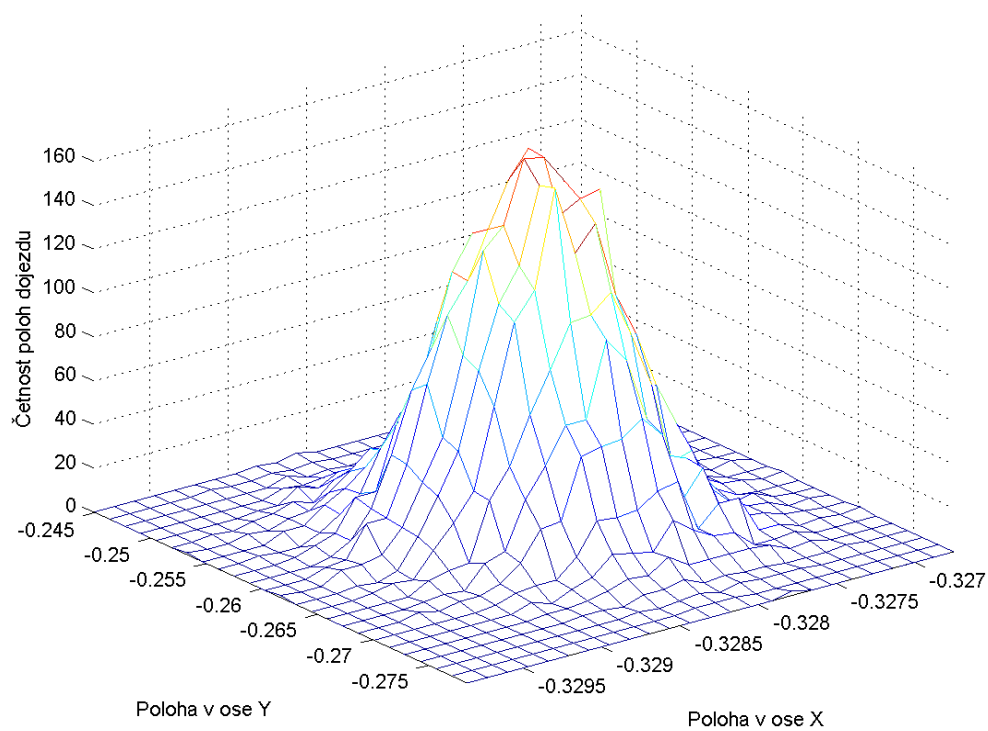


Obr. 34 Vygenerované četnosti z hodnot naměřených snímači.

## 7.6 Grafy četností pro jízdu vlevo po dobu 6 sekund



Obr. 35 Vygenerované četnosti ze skutečně naměřených hodnot.

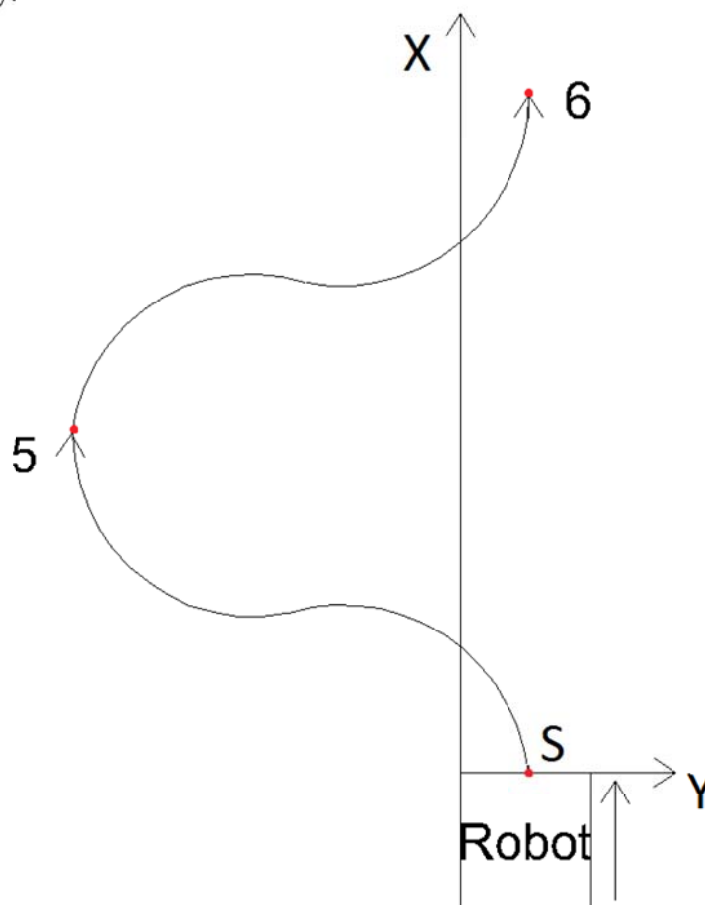


Obr. 36 Vygenerované četnosti z hodnot naměřených snímači.



### 7.7 Kombinace jízdy vlevo a vpravo po dobu 6 a 12 sekund

Schéma trasy:



Obr. 37 Schéma trasy při kombinaci zatáčení vlevo a vpravo.  
Bod 5 – jízda po dobu 6 sekund, bod 6 – jízda po dobu 12 sekund.

Na schématu, obr. 37, je zobrazena trasa pohybu při kombinaci zatáčení vlevo a vpravo. Při tomto experimentu se testuje vliv změny zatáčení robotu na koncovou polohu při střídavé kombinaci zatáčení. Kratší dráhu tvořily příkazy zatáčení pouze vlevo, následně vpravo. Koncovou polohu robotu vůči výchozímu bodu S představuje bod 5. Následoval experiment s 2x delším časem jízdy při zachování kombinace příkazů. Vzhledem k prostorové náročnosti experimentu byla zvolena jiná posloupnost příkazů, kdy robot zatáčí nejprve vlevo, následně vpravo, poté opět vpravo a konečně vlevo. Tím se dostane do koncové polohy označené bodem 6. Při delším experimentu se předpokládá zanedbatelný vliv střídání směru zatáčení na koncovou polohu. Hodnota v ose x by v bodě 6 měla být 2x větší než při prvním experimentu. Hodnoty koncových úhlů natočení a poloha v ose y by měly teoreticky být shodné s výchozí hodnotou - tedy úhly nulové a na ose y hodnota 0,15 m.

Vypočítané střední hodnoty:

		X	Y	$\varphi$
Jízda 6 sekund do bodu 5	Skutečně naměřené hodnoty	0,6889	-0,8492	0,0793
	Hodnoty ze snímačů	0,7570	-0,5795	-0,0084
Jízda 12 sekund do bodu 6	Skutečně naměřené hodnoty	1,2001	0,2980	0,1787
	Hodnoty ze snímačů	1,1704	0,1756	0,0594

Tab. 4 Střední hodnoty pro kombinaci jízdy vlevo a vpravo po dobu 6 a 12 sekund.

Střední hodnoty koncových poloh na osách x a y se výrazněji liší při kratší jízdě po dobu 6 sekund než u dráhy časově delší. Při prvním experimentu se poloha v ose x liší přibližně o 7 cm, v ose y je rozdíl výraznější, činí téměř 27 cm. Projevuje se zde stejná skutečnost jako u experimentu, při kterém robot zatáčel 6 sekund vlevo, tedy velká odchylka hodnoty naměřené robotem proti skutečné poloze v ose y. Rozdíl skutečné hodnoty od hodnoty naměřené snímačem je pravděpodobně způsoben vlivem nestejného poloměru dráhy při každém zatáčení robotu. Hodnoty koncového úhlu natočení jsou téměř shodné s počátečním nulovým úhlem. Při časově 2x delší jízdě je rozdíl v ose x pouze 3 cm a v ose y 12 cm. Podle snímačů robotu je koncová poloha v ose y přesnější než její skutečná. Střední hodnota koncového úhlu natočení je podle snímačů přesnější.

Kovarianční matice pro kombinaci jízdy vlevo a vpravo po dobu 6 sekund:

$$\text{Skutečně naměřené hodnoty:} \begin{bmatrix} 0,0006 & 0,0004 & 0,0007 \\ 0,0004 & 0,0003 & 0,0005 \\ 0,0007 & 0,0005 & 0,0010 \end{bmatrix}$$

$$\text{Hodnoty ze snímačů:} \begin{bmatrix} 0,0060 & -0,0076 & 0,0013 \\ -0,0076 & 0,3494 & -0,5323 \\ 0,0013 & -0,5323 & 0,8372 \end{bmatrix} \cdot 10^{-3}$$

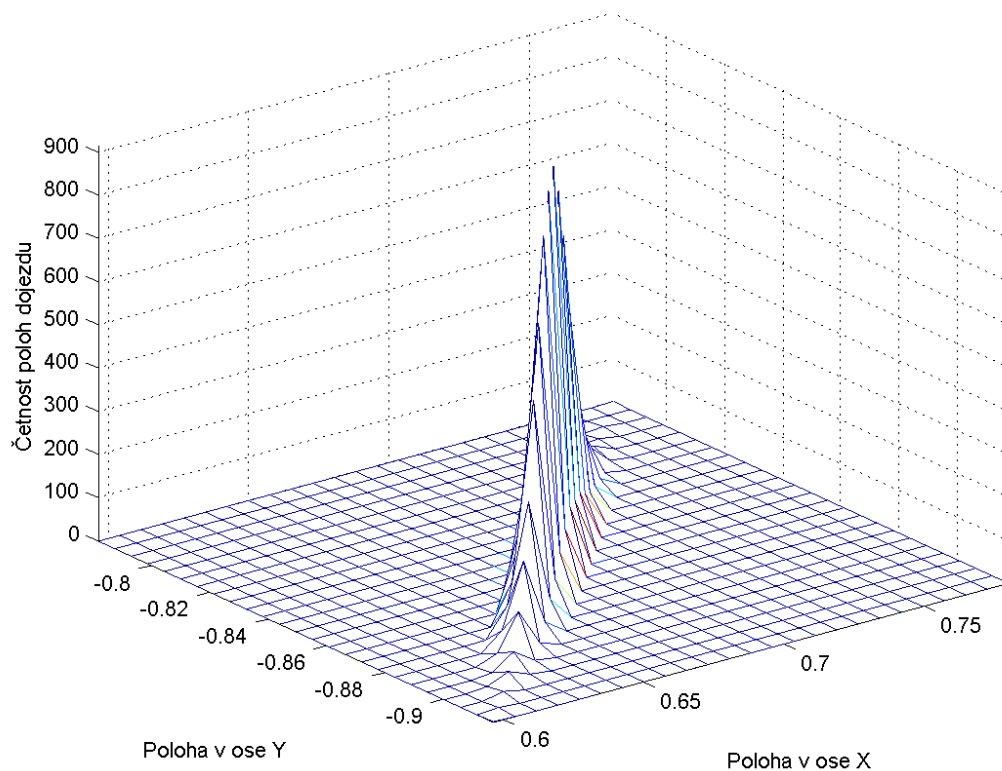
Kovarianční matice pro kombinaci jízdy vlevo a vpravo po dobu 12 sekund:

$$\text{Skutečně naměřené hodnoty:} \begin{bmatrix} 0,0017 & -0,0014 & -0,0010 \\ -0,0014 & 0,0020 & 0,0021 \\ -0,0010 & 0,0021 & 0,0037 \end{bmatrix}$$

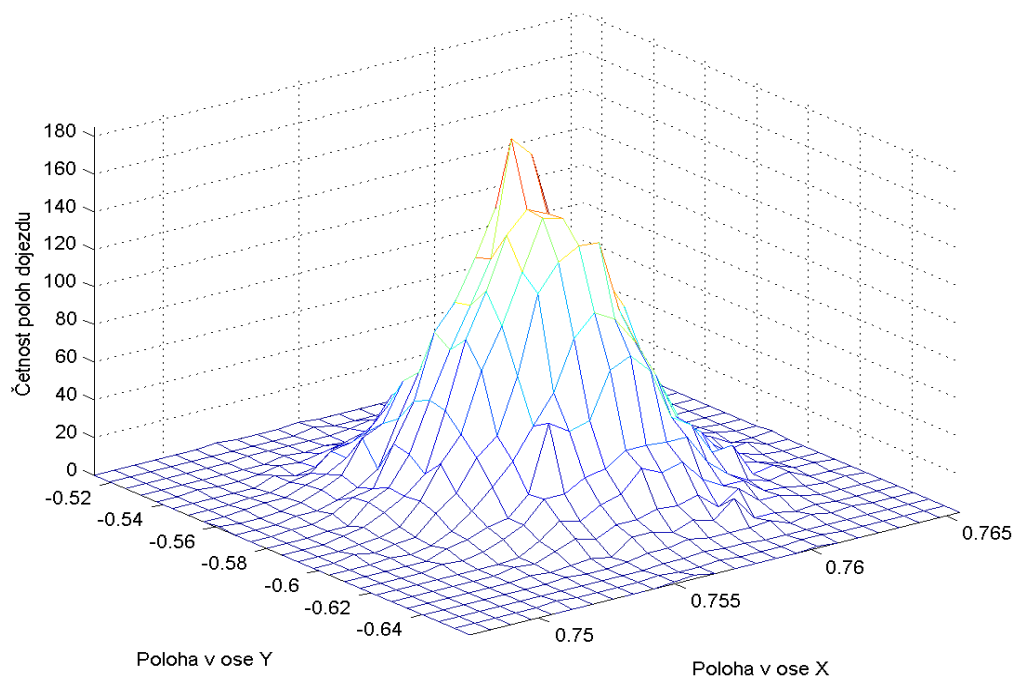
$$\text{Hodnoty ze snímačů:} \begin{bmatrix} 0,0492 & -0,0299 & 0,1179 \\ -0,0299 & 0,0349 & -0,0686 \\ 0,1179 & -0,0686 & 0,3278 \end{bmatrix} \cdot 10^{-3}$$

I tento experiment, tedy kombinace jízdy vlevo a vpravo po dobu 6 a 12 sekund, potvrdil, že rozptyly hodnot naměřených snímači robotu jsou menší. Robot si podle těchto dat „myslí“, že je v dané koncové poloze přesněji než je skutečnost.

### 7.8 Grafy četností pro kombinaci jízdy vlevo a vpravo po dobu 6 sekund

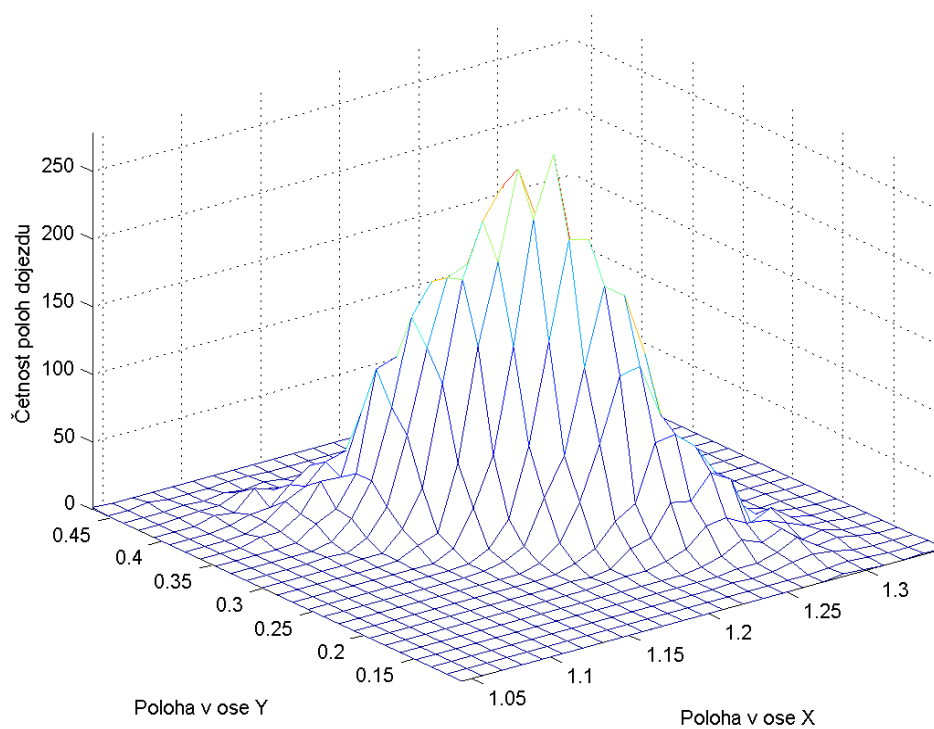


Obr. 38 Vygenerované četnosti ze skutečně naměřených hodnot.

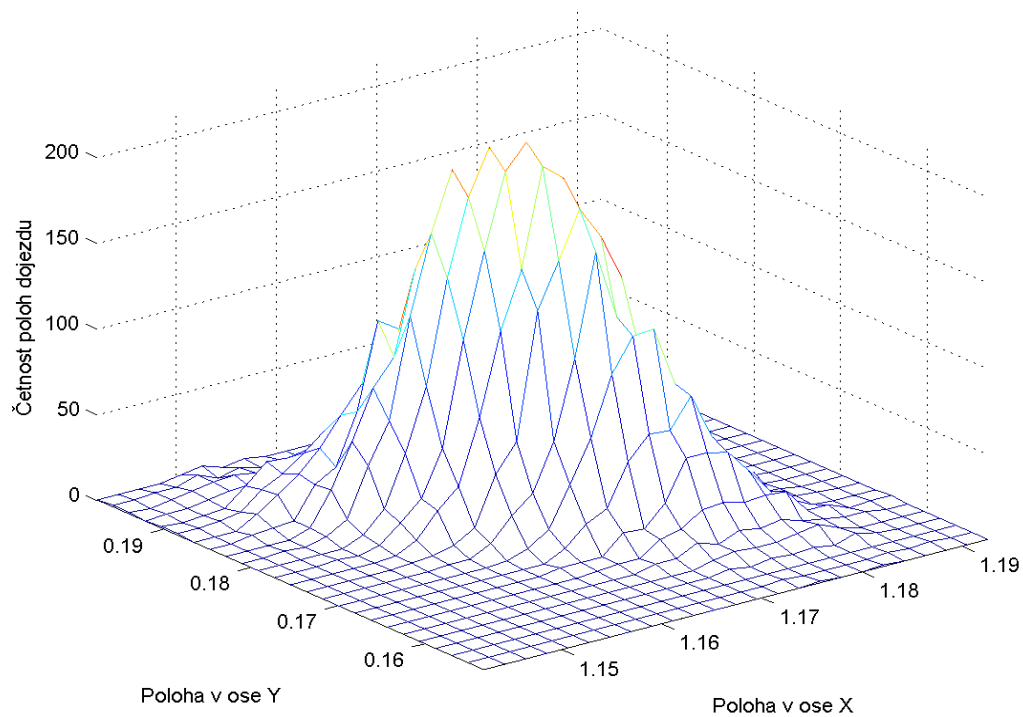


Obr. 39 Vygenerované četnosti z hodnot naměřených snímači.

### 7.9 Grafy četností pro kombinaci jízdy vlevo a vpravo po dobu 12 sekund



Obr. 40 Vygenerované četnosti ze skutečně naměřených hodnot.



Obr. 41 Vygenerované četnosti z hodnot naměřených snímači.

## 8 ZÁVĚR

Diplomová práce je zaměřena na návrh a konstrukci autonomního robotu. Cílem bylo vytvořit robot vhodný k testování indoor navigace, který by však měl i reprezentativní vzhled pro případnou prezentaci robotiky. Podvozek je diferenciální, se dvěma nezávislými hnacími jednotkami a opěrnou ostruhou. Je vyroben z dostatečně silného plechu, ve kterém jsou otvory pro uchycení hnacích jednotek, elektroniky a vnějšího pláště.

Pohonnou jednotkou byl nejprve zvolen servomotor od firmy Dynamixel, typové označení AX-12, jenž je popsán v kapitole 5.2.1. Bohužel, při prvních testovacích jízdách se zjistilo, že tyto servomory jsou příliš hlučné. Novými hnacími jednotkami byly zvoleny motory s převodovkou EMG 30, jejich parametry a vlastnosti jsou popsány v kapitole 5.2.2.

Ostruha byla použita z modelu letadla. Je opatřena ložiskem, které je uchyceno v pouzdru ložiska. Pouzdro ložiska je připevněno k podvozku pomocí čtyř šroubů M4. Tím je ostruha pevně uchycena na podvozku a zároveň se může volně otáčet. Detailní schéma uchycení ostruhy je v kapitole 5.3 Opěrná ostruha.

Plášť robotu je vyroben z laminátové skořepiny, která má hladký povrch a matnou černou barvu. Protože má robot sloužit zároveň pro prezentaci robotiky, vnější konstrukce byla zpracována do tvaru připomínajícího „živého“ robota a popsána v kapitole 5.4 Návrh vnější konstrukce.

Hlavní řídicí obvod robotu tvoří mikrořadič ATmega128, ve kterém je nahrán program určující, jak se bude robot pohybovat. Tento mikrořadič je rozměrově malý, univerzální a jevil se proto jako vhodný pro použití v této aplikaci. Pro napájení a vlastní řízení pohonných jednotek má robot samostatnou řídicí jednotku, která komunikuje s hlavním řídicím obvodem pomocí sběrnice TWI. Je dodáván spolu s jednotkami. S hlavním řídicím obvodem také úzce spolupracují senzory pro detekci překážek. Tyto senzory byly zvoleny jako odrazové infrsenzory s detekčním rozsahem od 10 do 80 cm.

Další část diplomové práce se zabývá měřením ujeté vzdálenosti robotu a následným vytvořením statistického modelu pohybu robotu. Provedené praktické experimenty jsou popsány v kapitole 6.2. Při nich měl robot v řídicí jednotce nahrán program, podle kterého se pohyboval. Každý experiment měl 30 pokusů pro objektivnost výsledků. Při každém pokusu se zaznamenávala koncová poloha, kam robot dojel, vůči výchozí poloze. Tato poloha se zaznamenávala jednak změřením vzdálenosti od výchozí polohy a také ze snímačů robotu. Jednotlivé trasy a další podrobnosti jsou popsány v kapitole 7. V experimentech bylo využito inkrementálních snímačů, které jsou součástí použitých motorů. Naměřené hodnoty a hodnoty ze snímačů bylo nutno zpracovat a přepočítat do polohy referenčních bodů a úhlu natočení vůči výchozí poloze, které se porovnávaly.

Z poloh referenčních bodů se také počítaly střední hodnoty polohy v ose  $x$ ,  $y$  a úhlu natočení  $\varphi$ . Dále proběhl výpočet kovariančních matic, které dávají informace o rozptylu těchto hodnot a jejich vzájemné závislosti. Střední hodnoty a kovarianční matice se použijí jako výstupní hodnoty z tohoto statistického modelu. Na konci každého experimentu byly vygenerovány náhodné koncové polohy s určitou četností z těchto středních hodnot a kovariančních matic.

Porovnáním informací, naměřených inkrementálními snímači, a reálně dosažené polohy byl sestaven model pohybu robotu, který bude sloužit v dalších ověřovacích experimentech nových lokalizačních metod. Ze současných měření vyplývá, že model založený na informacích z inkrementálních snímačů neodpovídá skutečně dosaženým polohám robotu a proto může být využíván v lokalizačních metodách pouze omezeně.

Do budoucna jsou připraveny další doplňkové experimenty, které mají za úkol ověřit platnost stávajících dat a rozhodnout o tom, zda se bude model založený na odometrii dále využívat, či nikoli.



## SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Robot. In Wikipedia : the free encyclopedia [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, 20. 12. 2004, 20:19 , last modified on 16. 5. 2010, 01:19 [cit. 2010-05-24]. Dostupné z WWW: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Robot>>.
- [2] LUCAS, G.W. <http://rosum.sourceforge.net> [online]. 2001 [cit. 2010-04-24]. A Tutorial and Elementary Trajectory Model for the Differential Steering System of Robot Wheel Actuators. Dostupné z WWW: <<http://rosum.sourceforge.net/papers/DiffSteer/DiffSteer.html>>.
- [3] WINKLER, Zbyněk. Robotika.cz [online]. 2005-12-05 [cit. 2010-03-12]. Odometrie. Dostupné z WWW: <<http://robotika.cz/guide/odometry/cs>>.
- [4] BURNHILL, Darren. [www.rctek.com](http://www.rctek.com) [online]. 2001, 2009 [cit. 2010-03-18]. Ackerman Steering Principle. Dostupné z WWW: <[http://www.rctek.com/technical/handling/ackerman\\_steering\\_principle.html](http://www.rctek.com/technical/handling/ackerman_steering_principle.html)>.
- [5] Snímač. In Wikipedia : the free encyclopedia [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, 24. 3. 2009, 17:54, last modified on 4. 10. 2009, 13:36 [cit. 2010-02-10]. Dostupné z WWW: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Snímač>>.
- [6] Shop.snailinstruments.com [online]. 2010 [cit. 2010-03-20]. SRF10. Dostupné z WWW: <[http://shop.snailinstruments.com/index.php?main\\_page=product\\_info&cPath=65\\_72&products\\_id=195](http://shop.snailinstruments.com/index.php?main_page=product_info&cPath=65_72&products_id=195)>.
- [7] Shop.snailinstruments.com [online]. 2010 [cit. 2010-03-20]. GP2Y0A02. Dostupné z WWW: <[http://shop.snailinstruments.com/index.php?main\\_page=product\\_info&cPath=65\\_72&products\\_id=185](http://shop.snailinstruments.com/index.php?main_page=product_info&cPath=65_72&products_id=185)>.
- [8] Automatizacni prostredky ii.pdf [online]. [s.l.] : [s.n.], 2006 [cit. 2010-03-08]. Dostupné z WWW: <<http://www.spszl.cz/modules/wfdownloads/visit.php?cid=8&lid=42>>.
- [9] VLČEK, Jan. [www.odbornecasopisy.cz](http://www.odbornecasopisy.cz) : Automa [online]. 2010 [cit. 2010-04-02]. Lineární optické snímače polohy. Dostupné z WWW: <[http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id\\_document=31121](http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=31121)>.
- [10] [www.ajptech.cz](http://www.ajptech.cz) [online]. 2010 [cit. 2010-04-03]. Snímače otáček a úhlů. Dostupné z WWW: <<http://www.ajptech.cz/produkty/prumyslova-senzorika/snimace-otacek-a-uhlu/inkrementalni/>>.
- [11] Snimace\_polohy.pdf [online]. [s.l.] : [s.n.], 2010-04-03 [cit. 2010-04-03]. Dostupné z WWW: <[http://www.mti.tul.cz/files/svm/Snimace\\_polohy.pdf](http://www.mti.tul.cz/files/svm/Snimace_polohy.pdf)>.
- [12] [www.spezial.cz](http://www.spezial.cz) [online]. 2010-04-03 [cit. 2010-04-03]. Magnetické pásky. Dostupné z WWW: <<http://www.spezial.cz/news/magneticke-pasky-k-prumyslovym-senzorum.html>>.
- [13] Emea.kontron.com [online]. 2010 [cit. 2010-04-05]. DIMM-PC 520-I. Dostupné z WWW: <<http://emea.kontron.com/products/computeronmodules/dimmpc/dimmpc520i.html>>.
- [14] scienceworld.cz. Umělá inteligence 3 [online]. Praha : Academia, 2001 [cit. 2010-05-24]. Reaktivní agenti v umělé inteligenci, s. . Dostupné z WWW: <<http://scienceworld.cz/technologie/reaktivni-agenti-v-umele-inteligenci-1960>>.
- [15] Dynamixel. Dynamixel AX-12 [online]. [s.l.] : [s.n.], 2006-06-14 [cit. 2010-01-12]. Dostupné z WWW: <<http://www.robotshop.ca/PDF/robotis-bioloid-dynamixel-ax-12-manual.pdf>>.
- [16] [www.robot-electronics.co.uk](http://www.robot-electronics.co.uk). EMG30 & Mounting Bracket specification [online]. [s.l.] : [s.n.], 2009-07-31 09:18:22 [cit. 2010-01-13]. Dostupné z WWW: <<http://www.active-robots.com/products/motorsandwheels/robot-drive-systems/md25/EMG30-mounting-bracket.pdf>>.
- [17] [www.robot-electronics.co.uk](http://www.robot-electronics.co.uk). MD25 - Dual 12Volt 2.8Amp H Bridge Motor Drive [online]. [s.l.] : [s.n.], 2009-07-31 16:42:11 [cit. 2010-01-13]. Dostupné z WWW: <<http://www.robot-electronics.co.uk/hm/md23tech.htm>>.
- [18] Shop.snailinstruments.com [online]. 2010 [cit. 2010-03-15]. GP2Y0A21. Dostupné z WWW: <[http://shop.snailinstruments.com/index.php?main\\_page=product\\_info&cPath=65\\_72&products\\_id=184](http://shop.snailinstruments.com/index.php?main_page=product_info&cPath=65_72&products_id=184)>.
- [19] Shop.snailinstruments.com [online]. 2010 [cit. 2010-03-15]. MD23. Dostupné z WWW: <[http://shop.snailinstruments.com/index.php?main\\_page=product\\_info&cPath=68\\_69&products\\_id=251](http://shop.snailinstruments.com/index.php?main_page=product_info&cPath=68_69&products_id=251)>.

- [20]Sharp. GP2Y0A21YK/GP2Y0D21YK [online]. [s.l.] : [s.n.], 2010 [cit. 2010-03-08]. Dostupné z WWW: <[http://sharp-world.com/products/device/lineup/data/pdf/datasheet/gp2y0a\\_d\\_e.pdf](http://sharp-world.com/products/device/lineup/data/pdf/datasheet/gp2y0a_d_e.pdf)>.
- [21]Atmel Corporation. 8-bit AVR (R) Microcontroller with 128K Bytes In-System Programmable Flash [online]. [s.l.] : [s.n.], 2003 [cit. 2010-03-12]. Dostupné z WWW: <<http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/atmel/2467S.pdf>>.